



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

NÍZKOFREKVENČNÍ ZESILOVAČ S AUDIO PROCESOREM A FFT ANALÝZOU

AUDIO POWER AMPLIFIER WITH AUDIO PROCESSOR AND FFT ANALYSIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARIÁN KUBÁŇ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. TOMÁŠ KRATOCHVÍL, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Marián Kubáň

ID: 106570

Ročník: 3

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Nízkofrekvenční zesilovač s audio procesorem a FFT analýzou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce navrhnete obvodové zapojení výkonového zesilovače 2 x 50 W do vámi zvolené zátěže, který by obsahoval 4 přepínatelné stereofonní vstupy, 3 pásmový equalizer a ovládání hlasitosti s fyziologickou korekcí. Zapojení dále doplňte vstupním audio procesorem a mikroprocesorem, který bude realizovat FFT analýzu audio signálu a na displeji zobrazovat frekvenční charakteristiku. V praktické části práce vytvořte kompletní konstrukční podklady k realizaci návrhu (schéma zapojení, návrh desky plošného spoje, rozložení a soupiska součástek, výpis programu řízení mikroprocesoru a jeho vývojové schéma atd.). Navržené zařízení realizujte formou funkčního prototypu a experimentálním měření v laboratoři nízkofrekvenční elektroniky ověřte jeho činnost. Výsledky měření zpracujte formou standardního protokolu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: BEN - technická literatura, 2003.
- [2] TALBOT-SMITH, M. Audio Engineer's Reference Book, Second Edition. Oxford: Focal press, 1999.
- [3] METZLER, B. Audio Measurement Handbook. Beaverton: Audio Presision, Inc., 1993.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá návrhom nízkofrekvenčného audio zosilňovača pre domáci posluh. Zosilňovač pozostáva z dvojice audioprocessorov a koncového stupňa. Dva audioprocessory umožňujú výber jedného zo štyroch vstupných stereo audio kanálov alebo tvarovať audio signál vo frekvenčnej oblasti pomocou piatich nastaviteľných pásiem. Ako koncový výkonový zosilňovač je použitý monolytický integrovaný obvod s výkonom 2 x 50 W . Audio procesory sú riadené pomocou sériovej linky IIC mikrokontrolérom z rodiny atmel megaAVR. Zároveň sa v mikrokontroléri vykonáva frekvenčná analýza vstupného audio signálu. Prevod časových vzorkov do frekvenčnej oblasti je pomocou FFT s Cooley-Tukey algoritmom. Výsledok FFT je zobrazený na grafickom LCD displeji. Celý zosilňovač ako aj ďalšie jeho parametre ako hlasitosť, výšky, vstupný kanál atď. sú nastavované jediným ovládacím prvkom, a síce rotačným enkóderom.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

ATMEL megaAVR , 8-bitový mikrokontrolér, nízkofrekvenčný výkonový zosilňovač, rotačný enkodér, audioprocessor, grafický displej, rýchla furierova transformácia, Cooley-Tukey algoritmus.

ABSTRACT

This thesis is concerning about desig of an audio power amplifier for home hearing. Amplifier involves two audioprocessors, the first one chooses one of the four available audio stereo inputs. The second just sets the considered shape of frequency characteristic of one of the picked audio signal. As soon as tha signal leaves the audioprocessors, its path is divided. First route leads to the power amplifier and second one ends up in the analog to digital converter. Both audioprocessors are adjusted via IIC line by 8-bit microcontroller. The primary role of microcontroller is to enumerate frequency coefficients through the fast fourier transformation with Cooley_tukey algorithm. Result of FFT is then displayed on graphical display unit. The whole desired parametres as volume, trebble, input selection, etc., are driven with one controller and that is a rotary encoder.

KEYWORDS

ATMEL megaAVR, 8-bit microcontroller, audio power amplifier, rotary encoder, audioprocessor, graphical display, fast fourier transformation, Cooley-Tukey algorithm.

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KUBÁŇ, M. *Nizkofrekvenční zesilovač s audioprocesorem a FFT analýzou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 34 s., 12 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému „*Nízkofrekvenční zesilovač s audioprocesorem a FFT analýzou*“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plno vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Zb.

V Brne dňa 28. mája 2010

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Tomášovi Kratochvílovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa 28. mája 2010

.....

(podpis autora)

OBSAH

Zoznam obrázkov	ix
Zoznam tabuliek	xi
Úvod	1
1 Nízkofrekvenčný zosilňovač	2
1.1 Vstupný korekčný zosilňovač	2
1.2 Equalizér	3
1.3 Koncový stupeň	4
1.4 Triedy zosilňovačov	5
2 Návrh zariadenia	6
3 Modul audioprocessorov a koncového stupňa	7
3.1 Vstupný korekčný zosilňovač	7
3.2 5 pásmový equalizér	9
3.2.1 Výpočet parametrov frekvenčných pásiem equalizéra	11
3.3 Koncový stupeň	13
3.3.1 Výpočet parametrov koncového zosilňovača.	14
4 Modul digitálneho riadenia a spracovania	16
4.1 Popis schémy zapojenia	16
5 Modul napájacieho zdroja	17
5.1 Výpočet parametrov napájacieho zdroja	17
6 Poznámky k návrhu	19
7 Rýchla furierová transformácia (FFT)	20
7.1 Základné vlastnosti FFT	20
7.2 FFT s pevnou rádovou čiarkou	22
8 Popis programu	24
8.1 Hlavný program	24
8.2 Obsluha Enkodéra	25

8.3	AD prevodník	26
8.4	Obsluha audio procesorov	26
8.5	Program FFT	27
8.6	Štruktúra MENU	28
9	Experimentálne meranie	29
10	Záver	30
	Literatúra	31
	Zoznam symbolov	32
	Zoznam skratiek	33
	Zoznam príloh	34

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1.1 Bloková schéma NF zosilňovača.....	2
Obrázok 2.1 Bloková schéma zapojenia zosilňovača.....	6
Obrázok 3.1 Bloková schéma modulu audioprocessorov a koncového stupňa.	7
Obrázok 3.2 Bloková schéma vnútorného zapojenia obvodu TDA7318.....	7
Obrázok 3.3 Schéma vnútorného zapojenia obvodu TDA7317.....	9
Obrázok 3.4 Zapojenie externých súčiastok jednotlivých pásiem	11
Obrázok 3.5 Frekvenčné charakteristiky pásiem equalizéra	12
Obrázok 3.6 Typické zapojenie zosilňovača LM 4780	13
Obrázok 4.1 Bloková schéma modulu riadenia a spracovania.....	16
Obrázok 5.1 Bloková schéma zapojenia napájacieho zdroja	17
Obrázok 7.1 Znázornenie operácie motýlika v FFT.....	20
Obrázok 7.2 Znázornenie “twiddle“ faktora pre a) $N = 16$ b) $N = 8$	21
Obrázok 7.3 Signálový tok pri FFT DIT s $N = 8$	22
Obrázok 8.1 Zjednodušený vývojový diagram hlavného programu.	24
Obrázok 8.2 Typické časové priebehy signálov rotačného enkodéra.	25
Obrázok 8.3 Schéma zapojenia rotačného enkodéra.	25
Obrázok 8.4 Vývojové diagramy obsluhy enkodéra.	26
Obrázok 8.5 Vývojový diagram FFT algoritmu.....	27
Obrázok 8.6 Stromová štruktúra MENU.....	28
Obrázok 9.1 Grafická závislosť modulu napät'ového zosilnenia na frekvencii.	29
Obrázok D.1 DPS modulu napájacieho zdroja – BOTTOM	38
Obrázok D.2 DPS modulu audioprocessorov a koncového stupňa – TOP.....	38
Obrázok D.3 DPS modulu audioprocessorov a koncového stupňa – BOTTOM.....	39
Obrázok D.4 DPS modulu riadenia a spracovania – BOTTOM	39
Obrázok E.1 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu riadenia a spracovania - TOP....	40
Obrázok E.2 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu riadenia a spracovania - BOTTOM	40
Obrázok E.3 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu audioprocessorov a koncového stupňa - TOP.....	41
Obrázok E.4 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu audioprocessorov a koncového stupňa - BOTTOM.....	41

Obrázok E.5	Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu napájacieho zdroja - TOP.	42
Obrázok E.6	Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu napájacieho zdroja-BOTTOM ...	42

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1.1. Vlastnosti vybraných zvukových zdrojov, nárokov na vstupný zosilňovač	3
Tabuľka 1.2 Prehľad základných vlastností tried výkonových zosilňovačov	5
Tabuľka 3.1 Prehľad základných technických parametrov audioprosora TDA7318 ..	8
Tabuľka 3.2 Prehľad vybraných technických parametrov obvodu TDA7317	10
Tabuľka 3.3 Prehľad vypočítaných a zvolených parametrov pásiem equalizéra	12
Tabuľka 3.4 Základné parametre integrovaného zosilňovača LM4780	14
Tabuľka 5.1 Parametre vybraného transformátora	18
Tabuľka 7.1 Príklad indexov (n) a ich bitovo reverzných hodnôt (b) pre $N = 8$	21
Tabuľka 8.1 Preddefinované štýly equalizéra.	26

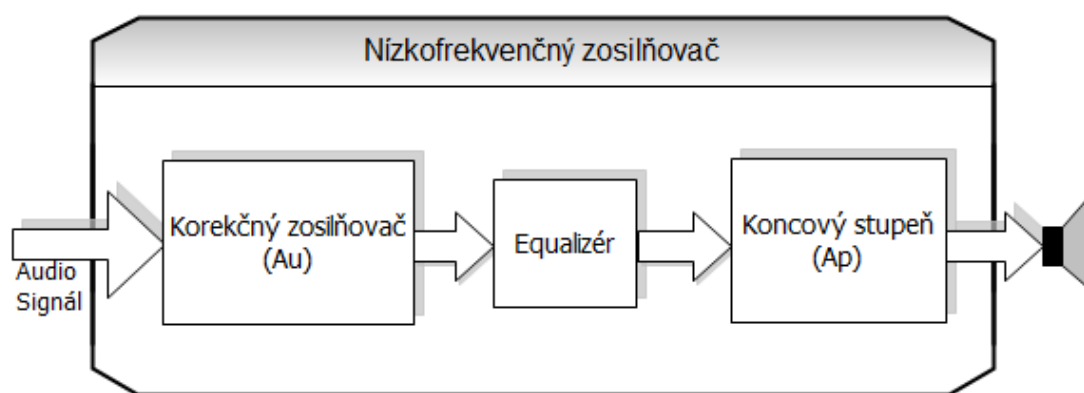
ÚVOD

Táto bakalárska práca rozoberá kompletný návrh nízkofrekvenčného audio zosilňovača s požadovaným výkonom $2 \times 50 \text{ W}$ do záťaže 8Ω . Bol vybraný monolitický integrovaný obvod LM 4780T od firmy National Semiconductor [1]. Projekt sa ďalej zaoberá návrhom vstupného zosilňovača, pre tento účel bol vybraný integrovaný audioprocessor TDA 7318 ktorý má 4 prepínateľné stereo audio kanály s možnosťou nastavenia vstupného zosilnenia, nastavenie hlasitosti, pre každý audio kanál samostatne [2]. Tento obvod obsahuje IIC rozhranie. Všetky nastavovacie procedúry sa realizujú prostredníctvom sériovej komunikácie IIC. Ďalším modulom je modul audioprocessora vo funkcii equalizéra. Equalizér je tvorený integrovaným obvodom TDA 7317 [3]. Tento je taktiež nastaviteľný prostredníctvom IIC rozhrania. Vybraný equalizér umožňuje tvarovať audio signál vo frekvenčnej oblasti v piatich pásmach. Stredové frekvencie sú nastavované pomocou externých súčiastok. V ďalšej časti práca popisuje modul digitálneho riadenia a spracovania. Ten v sebe zahŕňa mikrokontrolér, grafickú LCD zobrazovaciu jednotku, rotačný enkodér, a ostatné periférne obvody potrebné pre správnu funkciu a spracovanie analyzovaného audio signálu.

Práca tiež zahŕňa návrh modulu napájacieho zdroja pre koncový stupeň, ako aj pre ostatné obvody. Práca ďalej rozoberá základné vlastnosti FFT a následné úpravy potrebné pre jej správnu implementáciu do 8 bitového mikrokontroléra ATmega128. V práci je potom podrobne popísaný riadiaci program spolu s vývojovými diagramami a obsluhou jednotlivých častí.

1 NÍZKOFREKVENČNÝ ZOSILŇOVAČ

Nízkočfrekvenčný zosilňovač môžeme rozdeliť na menšie funkčné bloky. Každý blok má pri tom inú úlohu. Podľa funkcie, ktorú daný blok realizuje sú definované niektoré dôležité parametre blokov NF zosilňovača. Základné delenie rozdeľuje NF reťazec na dva bloky vid' obrázok 1.1. Prvým je vstupný alebo aj korekčný zosilňovač a druhým koncový stupeň. Ako ďalším blokom môže byť equalizér ktorý je upravenou formou korekčného zosilňovača. Korekčný zosilňovač a equalizér spadajú do skupiny napäťových zosilňovačov. Koncový stupeň je zo skupiny výkonových zosilňovačov. V nasledujúcich pasážach budú jednotlivé bloky podrobnejšie rozobraté a ku každému uvedené jeho najdôležitejšie vlastnosti a parametre.



Obrázok 1.1 Bloková schéma NF zosilňovača (prevzaté a upravené z [4]).

1.1 Vstupný korekčný zosilňovač

Vstupný blok je najdôležitejším článkom v celom NF zosilňovači. Hlavnými úlohami korekčného zosilňovača je zosilniť na menovitú napäťovú úroveň vstupujúci audio signál z rôznych zvukových zdrojov, impedančne prispôbiť vstupy, zmiešať signál z rôznych zdrojov. Zvukovými zdrojmi sú napríklad: linkový výstup zvukovej karty, výstup domácej audio sústavy, rádiový tuner, mikrofón, výstup elektrickej gitary a pod. Treba však pripomenúť že niektoré úrovne signálu sú natoľko malé že je nutné zaradiť ešte jeden stupeň predzosilňovača prispôbený na napäťové úrovne dané zvukovým zdrojom. Vybrané napäťové úrovne ako aj hodnoty impedancií sú uvedené v tabuľke 1.1.

Tabuľka 1.1. Vlastnosti vybraných zvukových zdrojov, nárokov na vstupný zosilňovač (prevzatá z [4]).

Zvukový zdroj	Max. výstupné napätie	Min. výstupná impedancia	Vstupná citlivosť zosilňovača	Vstupný odpor zosilňovača
Elektretový mikrofón	100 mV	0,6 – 3 k Ω	0,5 – 5 mV	10 k Ω
Elektromagnetický mikrofón	50 mV	100 – 500 Ω	1 mV	4,7 - 15 k Ω
Magnetodynamická prenoska	3 – 30 mV	1 – 20 Ω	1 mV	30 Ω – 5 k Ω
Kazetový magnetofón	100 - 500 mV	1 – 47 k Ω	250 mV	10 – 100 k Ω
CD, Počítač	= 775 mV	1 k Ω	775 mV	10 – 100 k Ω
Aktívny zmiešavací pult	200 – 775 mV	1 k Ω	250 – 750 mV	10 – 100 k Ω

Charakteristickými parametrami vstupného zosilňovača [4] sú:

- Vstupná citlivosť
- Vstupný odpor
- Odstup rušivých napätí
- Frekvenčná charakteristika

Z vymenovaných parametrov je určujúcim parametrom odstup rušivých napätí. Vyplýva to z jednej z jeho hlavných úloh a síce zosilniť signály s veľmi malou napäťovou úrovňou. Praktickým dôsledkom je potreba znížiť vlastný šum vstupného zosilňovača použitím nízkošumových pasívnych prvkov a nízkošumových operačných zosilňovačov.

1.2 Equalizér

Nasledujúcim blokom je equalizér. Základnou funkciou je tvarovať audio signál vo frekvenčnej oblasti, tzn. potlačiť alebo zdôrazniť niektoré frekvenčné zložky vo výstupnom spektre audio signálu podľa subjektívneho náozoru poslucháča nezávisle na ostatných frekvenciách. Equalizéry majú široké uplatnenie v mixážnych pultoch v nahrávacích štúdiách ale aj v domácich Hi-Fi audio sústavách. Hodnoty stredových frekvencií jednotlivých pásiem [4] sa volia pre kvalitnejšiu spotrebnú audio elektroniku nasledovne:

63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16 kHz

Tieto sú doporučené pre deväťpásmový equalizér. V prípade menšieho počtu stačí niektoré frekvencie vynechať. Equalizéry sa dajú v súčasnej dobe realizovať analógovou alebo aj digitálnou filtráciou.

1.3 Koncový stupeň

Koncový stupeň je posledným stupňom v NF reťazci. Jeho úlohou je vstupujúci audio signál menovitej napäťovej úrovne výkonovo zosilniť a premeniť elektrický výkon na akustický vo forme prúdu tečúceho elektromechanickým prvkom, napríklad cievkou reproduktora. Napájacie napätie koncových stupňov je niekoľkokrát väčšie ako napájanie ostatných blokov zosilňovača a najčastejšie sa používa symetrický zdroj. Koncové stupne sú v rôznych prevedeniach.

V prípade ak celkový výstupný výkon nepresiahne hodnoty 60 - 100 W je možné použiť monolitické alebo hybridné integrované výkonové zosilňovače. Pri vyšších výkonoch integrovaných výkonových zosilňovačov je však nutné počítať s veľkým skreslením. Ich výhodou je však jednoduchosť konštrukcie, malý počet súčiastok tvoriaci výsledný zosilňovač a menšia cena. Navyše v sebe často zahŕňajú rôzne druhy ochrán ako nadprúdovú, prepäťovú, tepelnú, ochranu reproduktorov a pod.

Najvyšších kvalít však dosahujú zosilňovače z diskretných prvkov. Táto skupina sa nazýva High – End.

Charakteristickými parametrami koncového zosilňovača [4] sú:

- Účinnosť [4]
 - Priemerné hodnoty pre výkonové zosilňovače sú v rozmedzí 50 až 65 %
- Činiteľ lineárneho, harmonického a intermodulačného skreslenia [4]
 - Lineárne skreslenie neovplyvňuje obsah spektra signálu.
 - V dôsledku nelineárneho skreslenia sa vo výstupnom spektre začínú vyskytovať nové frekvencie. Mierou na posúdenie nelineárneho skreslenia je činiteľ harmonického skreslenia.
 - Maximálny prípustný činiteľ harmonického skreslenia pre výkonové zosilňovače je 2 % na frekvencii 1 kHz. Pre Hi-fi zariadenia platí 1 % vo frekvenčnom pásme od 40 Hz do 12 500 Hz.
- Výkonová šírka pásma [4]
 - Frekvenčný rozsah kde smie výkon poklesnúť na hodnotu -3 dB pri rovnakom činiteli harmonického skreslenia.
- Činiteľ tlmenia [4]
 - Prevrátená hodnota vnútorného odporu zosilňovača.
 - Doporučená minimálna hodnota pre Hi-Fi je 3.
- Výstupný výkon [4]
 - Najčastejšie sa udáva sínusový (menovitý) alebo hudobný výkon.
- Výstupná impedancia [4]
 - K optimálnemu výkonovému prispôsobeniu dochádza v prípade zhody výstupnej impedancie zdroja a pripojenej záťaže. Pre Hi-Fi zariadenia je doporučená hodnota 8 Ω .

1.4 Triedy zosilňovačov

Zosilňovače môžeme z hľadiska obvodového zapojenia a princípu funkcie rozdeliť do tried ako napríklad A, AB, B, C, D. Jednotlivé triedy sa od seba líšia dosiahnuteľnou účinnosťou, nastavením pracovného bodu alebo samotným princípom funkcie. Pri vysokých výkonoch však v niektorých triedach dochádza k vysokým výkonovým stratám na výkonových aktívnych prvkoch. Pre tento účel boli vyvinuté triedy pracujúce v spínanom režime a síce triedy D, S, T. základné triedy [5] a ich typické vlastnosti sú v tabuľke 1.2.

Tabuľka 1.2 Prehľad základných vlastností tried výkonových zosilňovačov

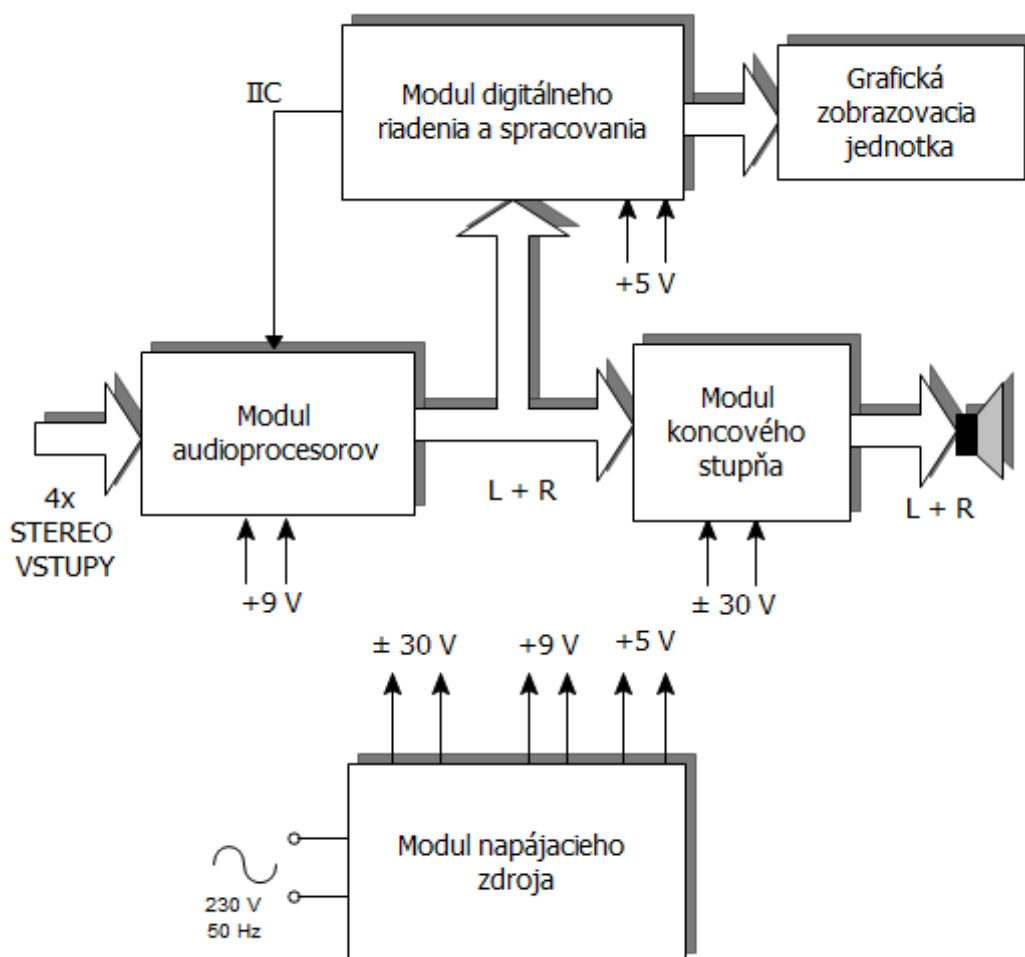
Trieda	Teoretická účinnosť	Režim spracovania signálu	Skreslenie
A	$\leq 25 \%$	Kontinuálny	Extrémne malé
AB	$\leq 70 \%$	50 – 100 %	Malé
B	$\leq 78,5 \%$	50 %	Stredné
C	$\leq 90 \%$	$< 50 \%$	Vysoké
D	$> 80 \%$	Spínaný	Stredné
T	$> 90 \%$	Spínaný	Malé

Nízka účinnosť triedy A je zapríčinená polohou pracovného bodu, ten je nastavený jednosmerným predpäťm v báze a teda tranzistor je otvorený neustále. Viac ako polovica výkonu sa vyžiarí vo forme tepelného stratového výkonu na aktívnych prvkoch. Ďalšou nevýhodou triedy A je že do reproduktora tečie jednosmerný prúd ktorý spôsobuje jeho predmagnetizáciu [5].

V súčasnosti najrozšírenejšou pracovnou triedou používanou pre audio zosilňovače je trieda B. Pracovný bod je nastavený tak aby spracovával iba polovicu z periódy signálu. Aby bolo možné spracovať aj druhú polovicu je nutné použiť zosilňovač s dvojicou komplementárnych tranzistorov v dvojčinnom zapojení [5]. Obrovskou nevýhodou je vysoké nelineárne skreslenie vstupných signálov s malými napäťovými úrovňami. Trieda AB je zmiešaná A a B. Pre malé signály pracuje ako trieda A a postupne so zvyšovaním úrovne signálu prechádza do triedy B [5]. Zavedením malého kludového prúdu do báze tranzistorov je zároveň odstránené nelineárne prechodové skreslenie z triedy B. Keďže je ale kludový prúd tranzistora výrazne závislý na teplote je nutné vyriešiť problém teplotnej stabilizácie kludového prúdu [5].

2 NÁVRH ZARIADENIA

V nasledujúcich kapitolách bude podrobne rozobratý návrh jednotlivých modulov NF zosilňovača. Celkové vnútorné usporiadanie jednotlivých modulov je na obrázku 2.1.

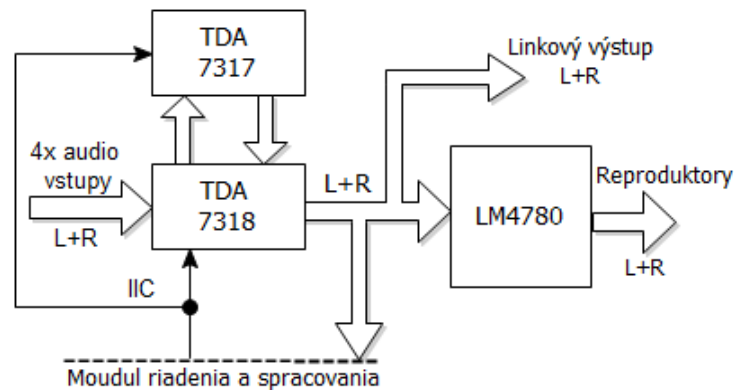


Obrázok 2.1 Bloková schéma zapojenia zosilňovača

Modul audioprocessorov obsahuje dva audioprocessory od výrobcu STMicroelectronics. Prvým je audioprocessor TDA 7318, plniaci funkciu vstupného korekčného zosilňovača. Druhým je obvod TDA 7317, vo funkcii 5 pásmového equalizéra. Takto upravený stereo audio signál sa spracováva v module digitálneho spracovania a riadenia a zároveň je signál výkonovo zosilnený v module koncového stupňa. Nastavovanie požadovaných hodnôt parametrov audio signálu je realizované rotačným enkodérom umiestneným v module digitálneho riadenia a spracovania. Hodnoty jednotlivých nastavených parametrov ako aj výsledok spracovania audio signálu sa zobrazí na grafickej zobrazovacej jednotke. Koncový stupeň je navrhnutý pre menovitú zaťažovaciu impedanciu reproduktorov $8\ \Omega$.

3 MODUL AUDIOPROCESOROV A KONCOVÉHO STUPŇA

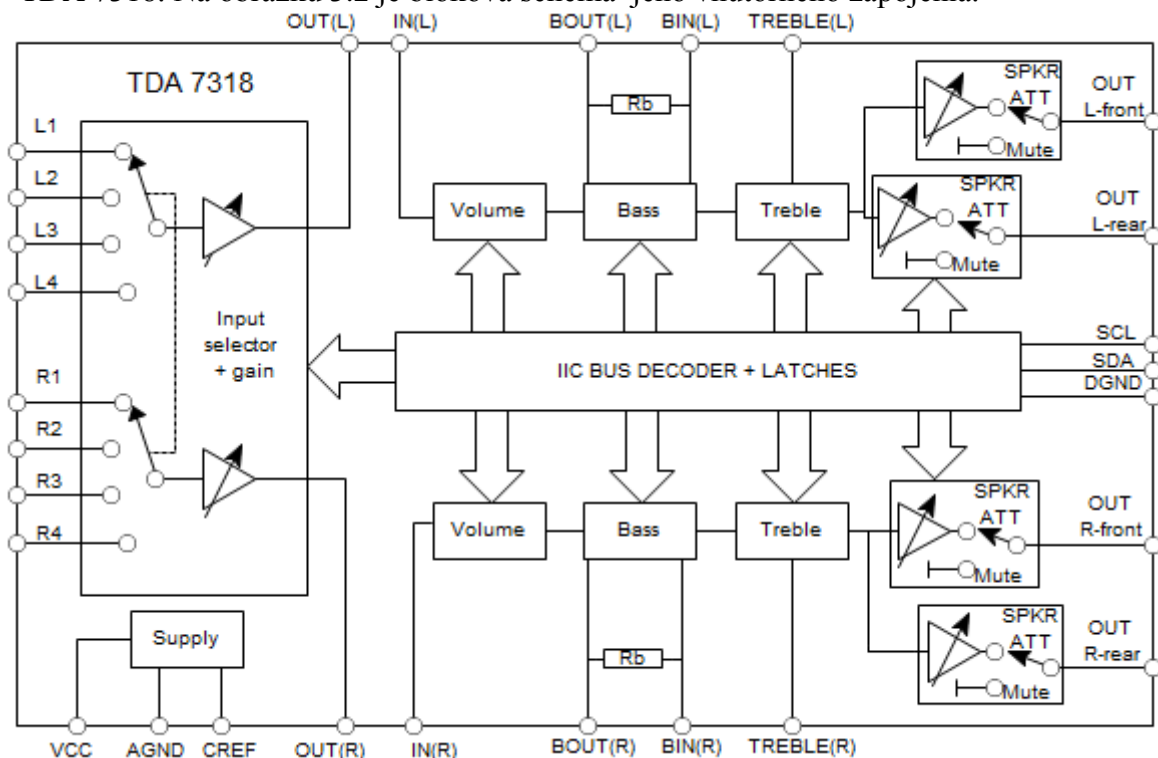
Základnými prvkami týchto modulov sú integrované obvody. Dva audioprocesory a monolitický integrovaný výkonový zosilňovač LM 4780 od firmy National Semiconductor. Dôvodom výberu audioprocesorov boli ich dobré technické parametre ako aj kompatibilita so sériovým rozhraním IIC.



Obrázok 3.1 Bloková schéma modulu audioprocesorov a koncového stupňa.

3.1 Vstupný korekčný zosilňovač

Ako už bolo povedané, úlohu korekčného zosilňovača preberá audioprocesor TDA 7318. Na obrázku 3.2 je bloková schéma jeho vnútorného zapojenia.



Obrázok 3.2 Bloková schéma vnútorného zapojenia obvodu TDA 7318 (prevzaté a upravené z [2]).

Audioprocessor má 4 prepínateľné stereo vstupy s nastaviteľným vstupným zosilnením. Potom je možné zosilnený signál priviesť prepojením svoriek OUT – IN na ďalší stupeň obvodu alebo na externý obvod, ako napríklad equalizér, obmedzovač šumu apod. Audioprocessor ďalej umožňuje nastaviť úroveň výstupnej hlasitosti pre ľavý a pravý kanál s krokom 1,25 dB, nastaviť úroveň basov a výšiek. Zvukový signál je potom cez nastaviteľné zoslabovače rozdelený na zadný, predný stereo kanál. Vybrané parametre audioprocessora TDA 7318 sú v tabuľke 3.1.

Tabuľka 3.1 Prehľad základných technických parametrov audioprocessora TDA 7318 (prevzaté z [2]).

Symbol	Parameter	MIN	TYP	MAX	Jednotka
VŠEOBECNÉ					
U_{CC}	Napájacie napätie	6	9	10	V
I_{CC}	Prúdový odber	4	8	11	mA
V_{CL}	Max. úroveň vstupného signálu	2			V_{RMS}
THD	Činiteľ harmonického skreslenia $V_{IN} = 1 V_{RMS}$, $f = 1 \text{ kHz}$.		0.01	0.1	%
S_C	Separácia kanálov		103		dB
SNR	Odstup signál-šum		106		dB
	Natavenie hlasitosti v krokoch 1.25 dB	-78.75		0	dB
	Úroveň basov a výšiek v krokoch 2 dB	-14		14	dB
	Vstupné zosilnenie v krokoch 6.25 dB	0		18.75	dB
	Vyváženie a výstupné utlmenie v krokoch 1.25 dB	-38.75		0	dB
	Útlm výstupného signálu v móde „MUTE“		100		dB
VÝSTUPNÉ					
U_{LIM}	Maximálna úroveň výstupného napätia	2	2.5		V_{RMS}
R_{OUT}	Veľkosť výstupného odporu	30	75	120	Ω
R_L	Veľkosť zaťažovacieho odporu	2			k Ω
VSTUPNÉ					
R_{IN}	Vstupný odpor	20	33	50	k Ω
e_{IN}	Vstupný šum (vstupné zosilnenie 18.5 dB)		2		μV

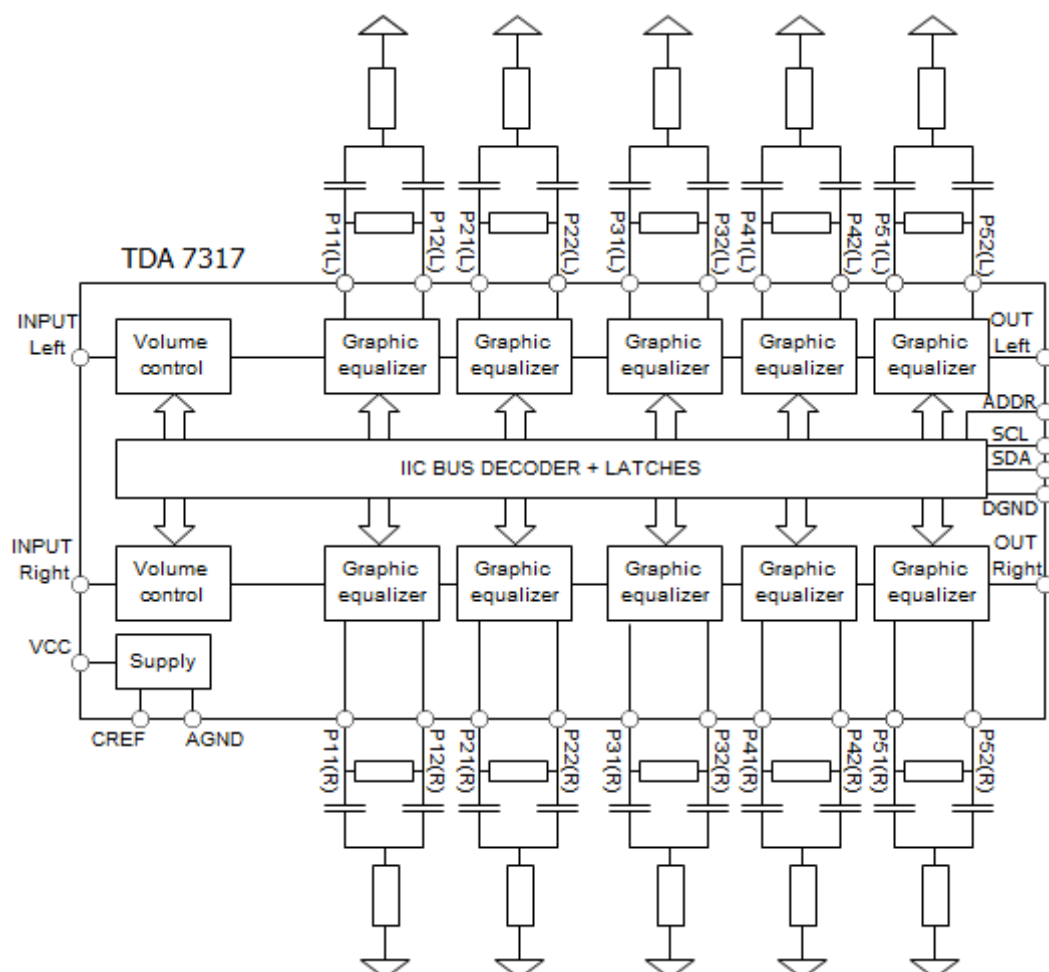
Z výstupov OUT (L) a OUT (R) sa signál privádza cez väzobné kondenzátory na vstup 5-pásmového equalizéra. Z výstupu equalizéra sa signál vracia opäť cez väzobné kondenzátory na vstupy IN (L) a IN (R). Z dôvodu nesymetrického napájania obvodu je audio signál na výstupoch superponovaný na jednosmernú úroveň napätia 4,5 V.

Voľbou externých súčiastok je možné nastaviť stredové frekvencie pre pásma basov a výšiek. Nastavenie sa realizuje pripojením T-článku medzi vstupy BOUT a BIN. Nastavenie frekvencie výšiek je realizované pripojením kondenzátora na vstup

TREBLE, ktorý vytvorí hornú priepusť. Konkrétne výpočty sú uvedené v kapitole 3.2.

3.2 5 pásmový equalizér

Ďalším audioprocessorom od firmy STMicroelectronic je obvod TDA 7317. Je to equalizér umožňujúci nastaviť potlačenie, zdôraznenie signálu na piatich vybraných frekvenčných pásmach. Stredové frekvencie sú nastavené pomocou externe pripojených T-článkov podobne ako pri obvode TDA 7318. Vnútorne zapojenie obvodu TDA 7317 je na obrázku 3.2.



Obrázok 3.3 Schéma vnútorného zapojenia obvodu TDA 7317 (prevzaté a upravené z [3]).

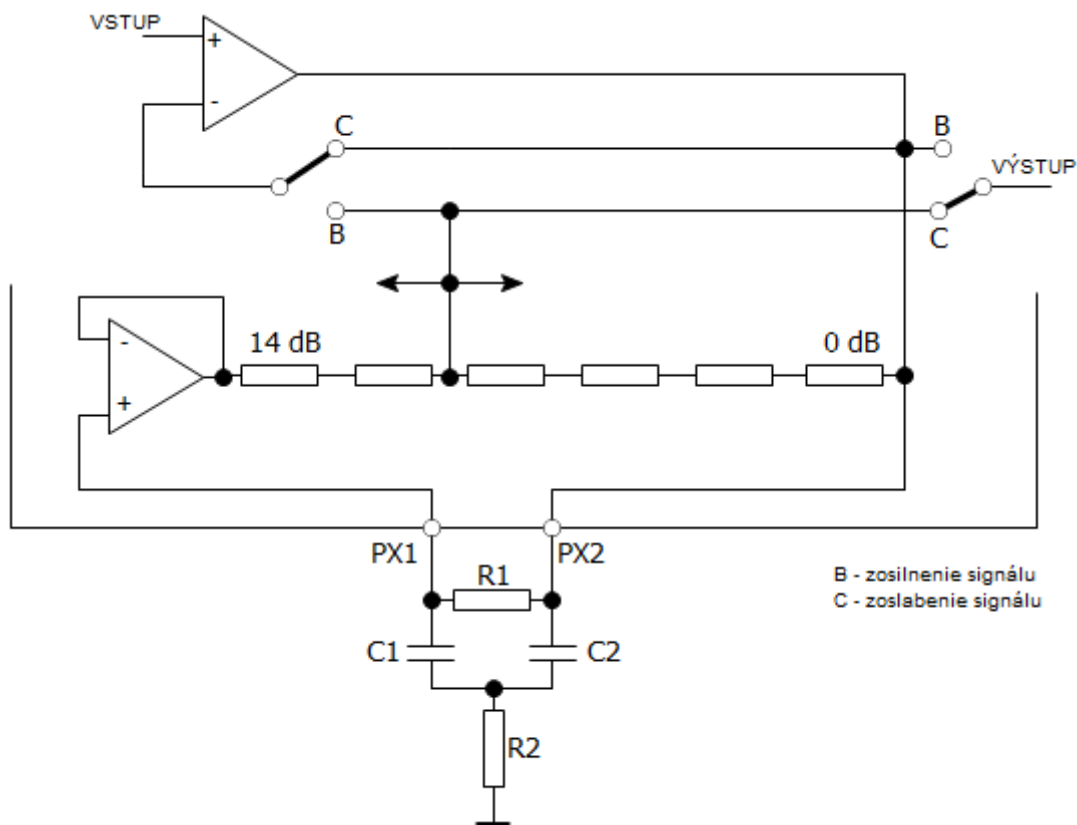
Equalizér je napájaný nesymetrickým napätím 9 V. Preto rovnako ako korekčný zosilňovač superponuje audio signál na jednosmerné napätie 4,5 V. Z tohto dôvodu sú na vstupoch a výstupoch zaradené väzobné kondenzátory. V prípade, ak by na vstupoch neboli zaradené došlo by k poškodeniu vstupov, respektíve by sa signál ani nespracoval. Maximálna úroveň vstupného napätia je uvedená v tabuľke 3.2. Pre každé pásmo je možné nastaviť strednú frekvenciu, kvalitu daného filtra, medzné frekvencie, ako aj maximálne zdôraznenie (potlačenie) signálu v danom frekvenčnom pásme. Pomocou ADDR vstupu je možné zvoliť IIC adresu equalizéra.

Tabuľka 3.2 Prehľad vybraných technických parametrov obvodu TDA 7317 (prevzaté z [3]).

Symbol	Parameter	MIN	TYP	MAX	Jednotka
VŠEOBECNÉ					
U_{CC}	Napájacie napätie	6	9	10	V
I_{CC}	Prúdový odber	8	14	20	mA
T_{OP}	Pracovný rozsah teplôt	- 40		+ 85	°C
VSTUPNÉ					
R_{IN}	Vstupný odpor	20	30	40	k Ω
V_{INmax}	Max. úroveň vstupného napätia (THD = 0.3 %)	2	2.5		V _{RMS}
S_{IN}	Odstup kanálov	80	100		dB
EQUALIZÉR					
THD	Činiteľ harmonického skreslenia		0.01	0.1	%
SNR	Odstup signál-šum. ($A_U = 0$ dB, $V_{IN} = 1$ V _{RMS})		100		dB
	Rozsah zosilnenia, potlačenia v pásmach s krokom 2 dB	± 12	± 14	± 16	dB
	Rozsah nastavenia utlmenia signálu s krokom 0.375 dB	0		18.6	dB
VÝSTUPNÉ					
R_{OUT}	Výstupný odpor	5	10	20	Ω
R_L	Veľkosť zaťažovacieho odporu	2			k Ω
V_{OUT}	Úroveň výstupného napätia. (THD = 0.3 %)	2	2.5		V _{RMS}

3.2.1 Výpočet parametrov frekvenčných pásiem equalizéra

Vychádza sa z vlastností pasívneho T – článku ktorý je zapojený k vstupom PX1 a PX2 kde X je číslo pásma od 1 do 5, viď obrázok 3.3.



Obrázok 3.4 Zapojenie externých súčiastok jednotlivých pásiem (prevzaté a upravené z [3]).

Základné vzťahy pre výpočet hodnôt súčiastok a nastavení pásma podľa [3]:
Kvalita obvodu Q [3]:

$$Q = \frac{\sqrt{(R_1 \cdot C_1 \cdot R_2 \cdot C_2)}}{(R_2 \cdot C_1) + (R_2 \cdot C_2)} \cdot [-] \quad (3.1)$$

$$Q = \frac{f_0}{f_H - f_D} \cdot [-] \quad (3.2)$$

Kde f_0 je stredová frekvencia pásma, f_H f_D okrajové frekvencie pre pokles A_U o 3 dB.
Napäťové zosilnenie A_U [3]:

$$A_U = \frac{(R_2 \cdot C_2) + (R_2 \cdot C_1) + (R_1 \cdot C_1)}{(R_1 \cdot C_1) + (R_2 \cdot C_2)} \cdot [-] \quad (3.3)$$

Stredová frekvencia f_0 [3]:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R_1 \cdot C_1 \cdot R_2 \cdot C_2)}} \cdot [\text{Hz}] \quad (3.4)$$

Pri zvolení hodnoty C_1 vypočítame ostatné súčiastky:

$$C_2 = \frac{Q^2}{A_U - 1 - Q^2} \cdot C_1 \cdot [F] \quad (3.5)$$

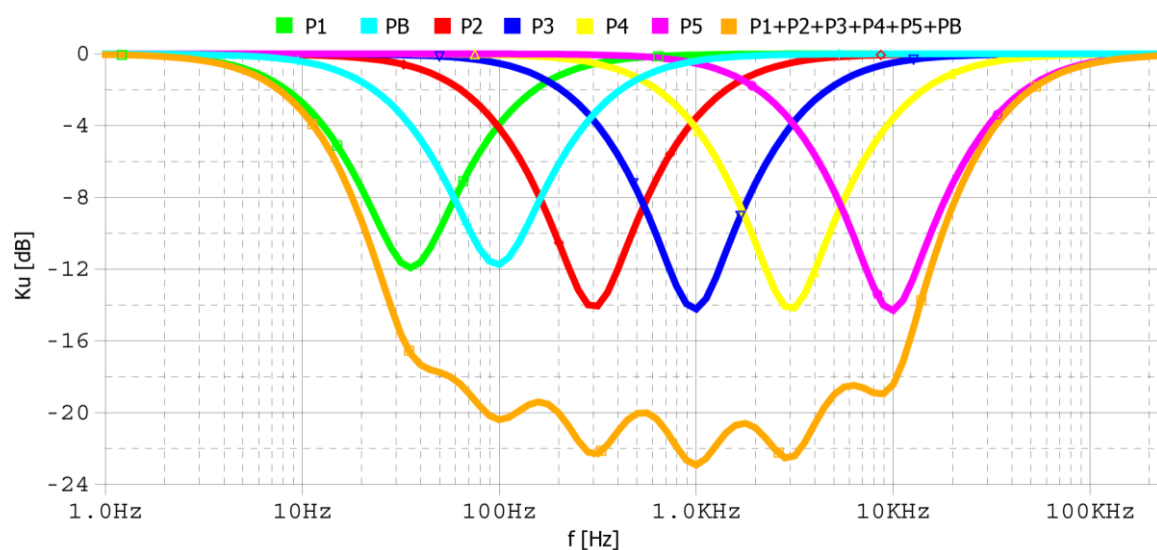
$$R_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot f_0 \cdot \frac{(A_U - 1) \cdot Q}{(A_U - 1 - Q^2)}} \cdot [\Omega] \quad (3.6)$$

$$R_1 = \frac{(A_U - 1)^2}{A_U - 1 - Q^2} \cdot R_2 \cdot [\Omega] \quad (3.7)$$

Pri návrhu súčiastok sú zároveň doporučené hodnoty odporov $R_1 \leq 51 \text{ k}\Omega$, $R_2 \geq 2 \text{ k}\Omega$ (vid' [3]). Zvolené parametre jednotlivých frekvenčných pásiem ako aj vypočítané a zvolené hodnoty súčiastok sú uvedené v tabuľke 3.3. Hodnoty odporov boli vybrané z rady E24. Výsledné frekvenčné charakteristiky so zvolenými hodnotami súčiastok boli odsimulované v programe OrCad PSpice. Výsledok simulácie je na obrázku 3.4. B* sú vypočítané hodnoty sú pre pásmo basov obvodu TDA7318.

Tabuľka 3.3 Prehľad vypočítaných a zvolených parametrov pásiem equalizéra.

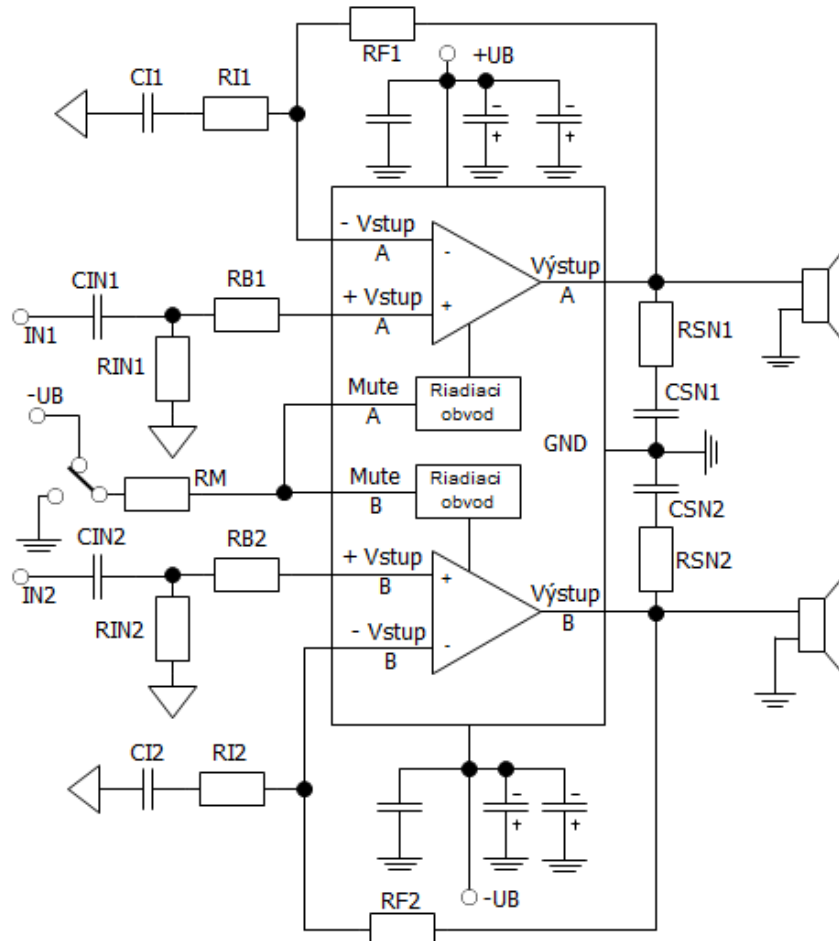
Pásmo	Q [-]	f_0 [Hz]	A_U [-]	R_1 [k Ω]		C_1 [nF]	R_2 [k Ω]		C_2 [nF]	
				Vyp.	Zvol.	Zvol.	Vyp.	Zvol.	Vyp.	Zvol.
1.	1,2	36	4	33,2	33	330	5,6	5,6	314	330
2.	1,4	300	5	26,5	27	56	3,2	3,3	58,6	56
3.	1,4	1000	5	46	39	12	4,4	4,7	9,8	12
4.	1,4	3000	5	34,8	39	3,9	4,6	4,7	4,2	3,9
5.	1,4	10000	5	41	47	1	5,6	5,6	1,1	1
B*	1,2	100	4	-	39	100	6,9	6,8	92	100



Obrázok 3.5 Frekvenčné charakteristiky pásiem equalizéra.

3.3 Koncový stupeň

Ako koncový stupeň bol vybraný integrovaný monolitický výkonový zosilňovač v triede AB LM 4780 T od firmy National Semiconductors. Maximálny výkon, ktorý je schopný dodať je $2 \times 60 \text{ W} / 1 \times 120 \text{ W}$ do záťaže $8 \Omega / 4 \Omega$. V tomto zariadení bude zapojenie vychádzať z typického zapojenia obvodu uvedenom v katalógovom liste. Typické zapojenie zosilňovača LM 4780 je na obrázku 3.5.



Obrázok 3.6 Typické zapojenie zosilňovača LM 4780 (prevzaté a upravené z [1]).

Obvod LM 4780 pozostáva z dvoch výkonových zosilňovačov LM 3886. Okrem nich obsahuje obvod na umlčanie signálu. Tento umožňuje vhodným zapojením eliminovať nechcené „lupnutie“ v reproduktoroch pri zapnutí zosilňovača. Ďalším obvodom, ktorý je obsiahnutý v zosilňovači je AN 898 od firmy National Semiconductors [6]. Obvod obsahuje rôzne druhy ochrán pre integrované zosilňovače ako napríklad: prúdové obmedzenie, podpäťová ochrana, prepäťová ochrana výstupných tranzistorov, tepelná ochrana, ochrana pri skratoch medzi výstupmi a zemou alebo napájacím napätím. Základne parametre integrovaného zosilňovača sú v tabuľke 3.4.

Tabuľka 3.4 Základné parametre integrovaného zosilňovača LM 4780 (prevzaté z [1]).

Symbol	Parameter	Hodnota	Jednotka
U_{CC}	Rozsah napájacieho napätia $ +UB $ – $ -UB $	20 – 84	V
I_{CC}	Prúdový odber	110 – 170	mA
SR	Rýchlosť prebehu	8 - 19	V/ μ s
Xtalk	Odstup kanálov. $P_O = 10$ W, $f = 1$ kHz	70	dB
A_M	Utlmenie pri zapnutom MUTE.	80 – 110	dB
$THD+N$	Činiteľ harmonického skreslenia + šum. $P_O = 30$ W, $f = 20$ Hz – 20 kHz, $A_U = 20$, $R_L = 8 \Omega$, $ +UB = -UB = 35$ V.	0,03	%
SNR	Odstup signál/ šum. $P_O = 50$ W, $f_{IN} = 1$ kHz	114	dB

3.3.1 Výpočet parametrov koncového zosilňovača.

Pomocou externých súčiastok je možné nastaviť zosilnenie [1] pri neinvertujúcom zapojení výkonového zosilňovača, to by sa malo pohybovať v rozmedzí $10 \leq A_U \leq 50$. Pre dosiahnutie najmenšieho $THD + N$ je doporučené voliť hodnotu $R_i = 1$ k Ω [1].

$$A_U = 1 + \frac{R_f}{R_i}. \quad [-] \quad (3.8)$$

Odpor R_i tvorí spolu s C_i filter typu horná priepusť s lomovou frekvenciou podľa 3.9.

$$f_i = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot C_i}. \quad [\text{Hz}] \quad (3.9)$$

Ďalší filter typu horná priepusť vytvorí R_{IN} a C_{IN} . Lomová frekvencia sa stanoví podľa 3.9. Doporučené hodnoty $R_{IN} = 10$ k Ω - 47 k Ω [1].

Výpočet rezistora R_M pre umlčovacý obvod [1]:

$$R_M \leq \frac{|-U_B| - 2,6}{I_{MUTE}}. \quad [\Omega] \quad (3.10)$$

Kde I_{MUTE} je prúd tečúci do vstupu umlčovacieho obvodu. Pokiaľ je hodnota tohto prúdu pod 0,5 mA je zosilňovač v režime MUTE. Pre pracovný režim je nutné voliť veľkosť na jeden vstup podľa [1] zároveň musí platiť $I_{MUTE} \geq 0,5$ mA.

Výpočet oneskoreného zapnutia:

$$U_A(t) = (U_B - U_0) \cdot e^{-t/\tau}. \quad [\text{V}] \quad (3.11)$$

Kde U_A je napätie v čase t , U_B je záporné napájacie napätie, U_0 je napätie na kondenzátore C_M v čase $t = 0$, t - čas v sekundách, τ - časová konštanta v sekundách, ktorá sa vypočíta $\tau = R_M \cdot C_M$ [s]. Pri oneskorenom zapnutí zosilňovača sa využíva stavu kedy je spomalený nábeh napätia na vstupe MUTE obvodu. Tým je zaručený oneskorený nábeh prúdu. Zosilňovač sa zapne do pracovného režimu, ak je obvod MUTE vyradený z činnosti. To nastane pri napätí -16,7 V [1].

Veľkosť maximálneho stratového výkonu na koncovom zosilňovači[1]:

$$P_{\text{DMAX}} = \frac{U_{\text{CC}}^2}{2 \cdot \pi^2 \cdot R_L} \cdot [\text{W}] \quad (3.12)$$

Kde U_{CC} je súčet absolútnych hodnôt napájacieho napätia symetrického napájania v kladnej a zápornej vetve. Keďže obsahuje obvod 4780 dva koncové stupne je potrebné takto vypočítaný stratový výkon vynásobiť dvomi.

Výpočet tepelného odporu chladiča:

$$\theta_{\text{CHL}} = \frac{T_{\text{JMAX}} - T_{\text{AMB}} - P_{\text{DMAX}} \cdot (\theta_{\text{JC}} + \theta_{\text{CCHL}})}{P_{\text{DMAX}}} \cdot [\text{K/W}] \quad (3.12)$$

Kde T_{JMAX} je teplota prechodu, T_{AMB} teplota okolitého prostredia, θ_{JC} a θ_{CCHL} sú tepelné odpory prechod-púzdro a púzdro-chladič. Všetky tieto parametre s výnimkou T_{AMB} sú stanovené výrobcom (viď [1]). Pre ďalšie výpočty je T_{AMB} zvolená na 50 °C.

Numerické výpočty:

Výpočet hodnoty rezistora R_f , A_U zvolené 23 a $R_i = 1 \text{ k}\Omega$ zo vzťahu 3.8:

$$R_f = R_i \cdot (A_U - 1) = 1000 \cdot (23 - 1) = \underline{\underline{22 \text{ k}\Omega}}$$

Výpočet hodnoty kondenzátora C_i , f_i zvolená 3 Hz, $R_i = 1 \text{ k}\Omega$ podľa vzťahu 3.9:

$$C_i = \frac{1}{f_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_i} = \frac{1}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1000} = \underline{\underline{53 \text{ }\mu\text{F}}}$$

Hodnota C_i zvolená 47 μF .

Výpočet hodnoty väzobného kondenzátora C_{IN} , f_{IN} zvolená 10 Hz, $R_{\text{IN}} = 15 \text{ k}\Omega$ podľa vzťahu 3.9:

$$C_{\text{IN}} = \frac{1}{f_{\text{IN}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{IN}}} = \frac{1}{10 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 15000} = \underline{\underline{1 \text{ }\mu\text{F}}}$$

Výpočet rezistora R_{M1} a R_{M2} pre umlčovací obvod podľa 3.10 pri $I_{\text{MUTE}} = 2 \text{ mA}$ pre obidva obvody, kondenzátora C_m pre oneskorenie zapnutie zosilňovača podľa 3.10:

$$R_M \leq \frac{|-U_B| - 2,6}{I_{\text{MUTE}}} = \frac{|-30| - 2,6}{0.002} = \underline{\underline{13,7 \text{ k}\Omega}}$$

Zvolená hodnota $R_{\text{M2}} = 10 \text{ k}\Omega$. Pre oneskorené zapnutie je potrebné navrhnuť napäťový delič z rezistorov R_{M1} a R_{M2} tak aby bolo na výstupe deliča zaručené napätie väčšie ako -16,7 V a zároveň musia obidve hodnoty vyhovovať podmienke zo vzťahu 3.10. Zvolené výstupné napätie $U_A = -20 \text{ V}$ a z toho potrebný deliaci pomer deliča 0,666. Pri známej hodnote $R_{\text{M2}} = 10 \text{ k}\Omega$, vypočítame R_{M1} podľa vzťahu:

$$R_{\text{M1}} = \frac{R_{\text{M2}}}{p} - R_{\text{M2}} = \frac{10000}{0.666} - 10000 = \underline{\underline{5 \text{ k}\Omega}}$$

Hodnota R_{M2} bola zvolená 4,7 k Ω .

Zvolený čas oneskoreného zapnutia 300 ms. Výpočet časovej konštanty τ podľa 3.11:

$$\tau = \frac{-t}{\ln(U_A/(U_B - U_0))} = \frac{-0,3}{\ln(-16,7/(-30 - 0))} = \underline{\underline{0,512 \text{ s}}}$$

$$C_M = \frac{\tau}{R_{\text{M1}}} = \frac{0,512}{4700} = \underline{\underline{108 \text{ }\mu\text{F}}}$$

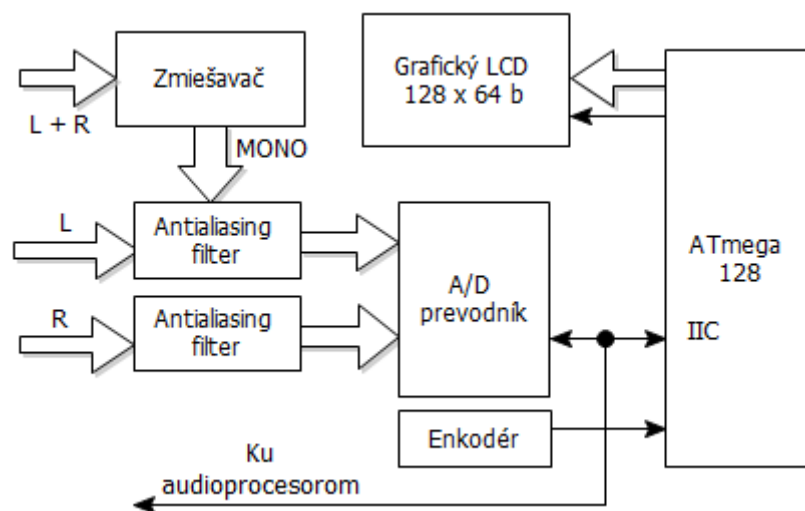
Zvolená hodnota $C_M = 100 \mu\text{F}$.

Výpočet potrebného odporu chladiča, kde $P_{\text{DMAX}} = 50 \text{ W}$ (podľa 3.12):

$$\theta_{\text{CHL}} = \frac{T_{\text{JMAX}} - T_{\text{AMB}} - P_{\text{DMAX}} \cdot (\theta_{\text{JC}} + \theta_{\text{CCHL}})}{P_{\text{DMAX}}} = \frac{150 - 50 - 50 \cdot (0,2 + 0,8)}{50} = \underline{\underline{1 \text{ K/W.}}}$$

4 MODUL DIGITÁLNEHO RIADENIA A SPRACOVANIA

Základom celého zariadenia je mikrokontrolér ATmega 128 [8] z rodiny megaAVR. Obsahuje rozhrania 2×UART, IIC, SPI, JTAG. Veľkosť pamätí SRAM 4 kB, FLASH 128 kB. Modul ďalej obsahuje grafický displej ATM 12864 s rozlíšením 128×64 zobrazovacích bodov s radičom KS 107. Ďalšími periférnymi obvodmi sú dva programovateľné eliptické antialiasingové filtre od firmy Maxim MAX 296 [9], A/D prevodník od firmy Maxim MAX1036 [10]. Funkcia riadenia v sebe zahŕňa nastavovanie audioprocesorov, zobrazenie výsledkov a textov na grafický LCD displej, spracovanie signálov prichádzajúcich od enkodéra a komunikáciu s externým A/D prevodníkom (viď obr 4.1). Spracovanie audio signálu bude realizované v niekoľkých sekvenciách. Signál sa navzorkuje A/D prevodníkom pripraví sa na vstup do výpočtu rýchlej fourierovej transformácie a výsledne vypočítané spektrum sa zobrazí na grafickom LCD displeji. Podrobnejšie je funkcia modulu rozobratá v kapitole 8.4.



Obrázok 4.1 Bloková schéma modulu riadenia a spracovania

4.1 Popis schémy zapojenia

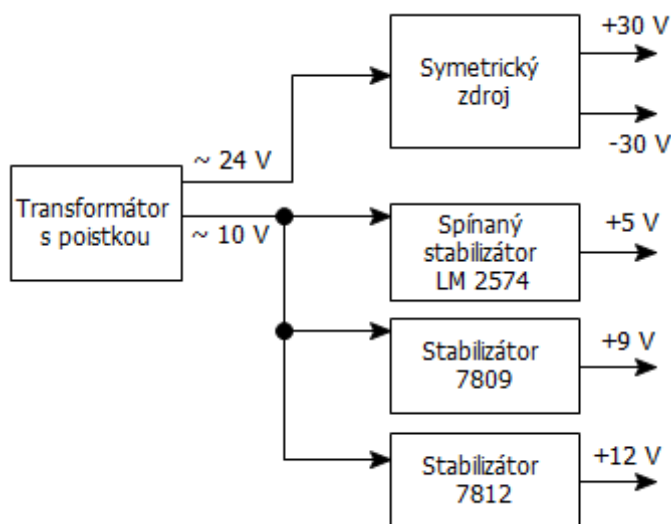
Schéma zapojenia modulu je v prílohe C. Audio signál je privedený z modulu audioprocesorov na trimre, kde sa zoslabí na požadovanú napäťovú úroveň a privedie sa každý kanál samostatne na antialiasingový filter. Zároveň sú oba kanály privedené na invertujúci sumačný operačný zosilňovač. Výstupom je monofónny audio signál.

Pomocou kolíkovej lišty M/S je možné vybrať, ktorý audio signál sa bude privádzať na vstup prvého antialiasingového filtra. Je to buď pravý kanál alebo zmiešaný monofónny signál. Za filtermi sú oddelené jednosmerné zložky signálov (4,5 V) a pomocou odporových deličov sú signály nasuperponované na jednosmerné offsetové napätie 2,5 V. Takto upravené už vstupujú do kanálov A/D prevodníka.

Displej je k mikrokontroléru pripojený dvanástimi vodičmi. Osem z nich je dátových, zvyšné 4 sú riadiace. Pomocou trimra R_{12} je možné nastaviť kontrast grafického displeja. Odporom R_{11} je nastavený prúd pre podsvietenie na 77 mA.

5 MODUL NAPÁJACIEHO ZDROJA

Napájací zdroj obsahuje dve vetvy. Symetrická vetva pre napájanie koncového zosilňovača. Pomocná vetva ktorá obsahuje všetky zdroje napätia potrebné pre správnu funkciu zapojených obvodov. Sú to napätia 5 V, 9 V a 12 V (viď obr. 5.1).



Obrázok 5.1 Bloková schéma zapojenia napájacieho zdroja

5.1 Výpočet parametrov napájacieho zdroja.

Vychádza sa z výkonu koncové zosilňovača ktorý je $2 \times 50 \text{ W}$ a z príkonu integrovaných obvodov. Maximálny prúdový odber v 9 V napájacej vetve nepresiahne hodnotu 62,5 mA. Ako lineárny stabilizátor bol zvolený obvod 78M09 s maximálnym výstupným prúdom 500 mA. Keďže výstupné napätie druhého sekundárneho vinutia transformátora má menovité napätie 10 V a po vyfiltrovaní nadobudne 14,4 V je potrebné pre 5 V napájaciu vetvu použiť spínaný stabilizátor. Maximálny odberový prúd v 5 V napájacej vetve bude 92,35 mA. Bol zvolený spínaný stabilizátor LM2574M s maximálnym výstupným prúdom 500 mA.

Pre dosiahnutie čo najmenšieho činiteľa harmonického skreslenia [1] bolo zvolené napájacie napätie koncového stupňa $\pm 30 \text{ V}$.

Výpočet menovitého napätia symetrického zdroja:

$$U_{MEN} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} + U_D = \frac{30}{\sqrt{2}} + 1 = \underline{\underline{22,21 \text{ V}}} \quad (5.1)$$

Kde U_D je úbytok napätia na usmerňovacom mostíku [7]. U_{MEN} bolo zvolené 24 V
Prúd dodaný do záťaže 8Ω pri výkone 50 W:

$$I_Z = \frac{P_Z}{U_0 - U_{LM}} = \frac{50}{30 - 2,5} = \underline{\underline{1,812 \text{ A}}} \quad (5.2)$$

Kde U_{LM} je úbytok napätia na obvode LM 4780 určený z katalógového listu [1].
Výstupný prúd záťažou bol stanovený na 2,5 A z dôvodu prítomnosti prípadných prúdových špičiek.

Potrebný výkon sekundárneho vinutia transformátora:

$$P_2 = 2 \cdot U_{21} \cdot I_{21} + U_{22} \cdot I_{22} = 2 \cdot 24 \cdot 2,5 + 10 \cdot 1 = 130 \text{ VA} \quad (5.3)$$

K vypočítanému výkonu bola pridaná výkonová rezerva 25 % a výsledný zvolený výkon transformátora je 160 VA. Súhrn parametrov transformátora je v tabuľke 5.1.

Tabuľka 5.1 Parametre vybraného transformátora.

Vinutie transformátora	Menovitý Výkon [VA]	Menovité napätie [V]	Menovitý prúd [A]
Primárne	160	~ 230	~ 0,7
Sekundárne 1	120	~ 2 x 24	~ 2,5
Sekundárne 2	10	~ 10	~ 1

Za toroidným transformátorom nasledujú dva usmerňovacie mostíky jeden pre symetrický zdroj so strednou hodnotou výstupného prúdu 8 A (viď [7]). Druhý mostík dodáva usmernené priebehy do pomocnej časti zdroja. Táto je tvorená z troch stabilizátorov (viď obrázok 5.1).

Výpočet potrebnej filtračnej kapacity symetrického zdroja [11]:

$$C_{MIN} = \frac{600 \cdot I_0}{p \cdot U_0} \cdot [\mu\text{F}; -, \text{mA}, \%, \text{V}] \quad (5.4)$$

Kde I_0 je požadovaná stredná hodnota prúdu, U_0 je stredná hodnota výstupného napätia, p – požadované zvlnenie výstupného napätia.

Pre voľbu kapacity filtračných kondenzátorov pre audio techniku sa doporučuje voliť kapacitu minimálne 2,5 mF na každý započatý Ampér.

Numerický výpočet filtračnej kapacity podľa vzťahu 5.4:

$$C_{MIN} = \frac{600 \cdot I_0}{p \cdot U_0} = \frac{600 \cdot 2500}{5 \cdot 30} = \underline{\underline{10\,000 \mu\text{F}}}$$

Boli zvolené tri paralelne zapojené kondenzátory s kapacitou 3,3 mF. Paralelné zapojenie bolo zvolené z viacerých dôvodov. Paralelné zapojenie zníži hodnotu ekvivalentného sériového odporu kondenzátorov, kondenzátory majú menšie rozmery (úspora miesta na DPS), majú menší stratový činiteľ a ich parametre sú stabilnejšie.

6 POZNÁMKY K NÁVRHU

Pre modul napájacieho zdroja bola navrhnutá jednostranná DPS s kombinovanou montážou. Transformátor bude umiestnený mimo DPS. Poistkové púzdro bude umiestnené na zadnom paneli vedľa sieťového konektora. Symetrické sekundárne vinutie transformátora je privedené do DPS prostredníctvom zasúvacieho konektora. Na zvyšné voľné prípojné body sa budú pripájať všetky zemniace vodiče z ostatných DPS, vrátane ochranného sieťového vodiča a kovového krytu prístrojovej skrinky, tak aby vyhovovalo zariadenie požiadavkám zariadení s triedou ochrany I. DPS bude pripevnený ku skrinke pomocou dvoch distančných stĺpikov.

Pre modul audioprocessorov a koncového stupňa bola navrhnutá obojstranná DPS. Pri audio procesore TDA7317 má špeciálny druh púzdra SDIP. Preto boli použité súčiastky zvolené SMD s rozmerom 0603. Na dolnej časti DPS sú umiestnené konektory slúžiace na pripojenie 4 zvukových audio zdrojov, tieto sú privedené na tri dvojice cinch konektorov umiestnené na zadnom paneli. Ďalším konektorom je vyvedená sériová IIC linka od audio procesorov ku DPS modulu riadenia. Audio signál vystupujúci z bloku audioprocessorov (ľavý a pravý zadný kanál) je privedený k vstupom koncového stupňa LM 4780 a zároveň cez oddel'ovacie operačné zosilňovače a konektor smerom k modulu riadenia. Koncový stupeň bude pripevnený o chladič s aktívnym chladením a tento bude pripevnený o šasi. Napájacie konektory koncového stupňa sú umiestnené z ľavej strany DPS. Plošný spoj bude pripevnený ku prístrojovej skrinke štyrmi distančnými stĺpikmi.

DPS pre modul riadenia bola navrhnutá ako jednostranná. Zo strany TOP budú umiestnené konektory pre UART rozhranie, IIC sériovú linku, audio signál odoberaný z výstupu audioprocessora, napájacie konektory a konektor pre pripojenie DPS enkodéra. Enkodér bude umiestnený na samostatnom DPS a pripevnený o predný panel pomocou distančných stĺpikov. Na strane TOP ďalej budú nastavovacie trimre, kryštál pre mikrokontrolér a programovateľné filtre. Zvyšné súčiastky so montované zo strany BOTTOM a to platí aj pre grafický LCD displej. Ten bude k DPS pripevnený distančnými stĺpikmi a zároveň bude ďalšou sadou stĺpikov prichytený o predný panel.

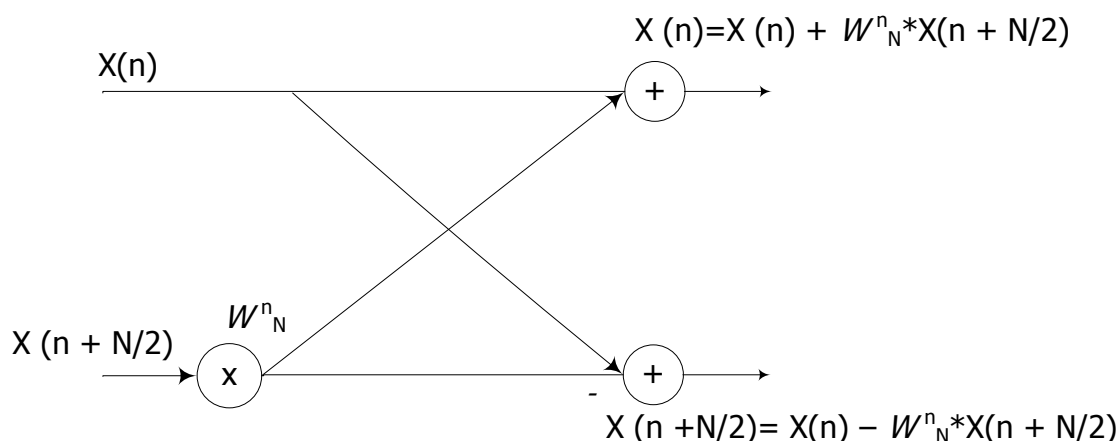
7 RÝCHLA FURIEROVÁ TRANSFORMÁCIA (FFT)

7.1 Základné vlastnosti FFT

Algoritmus FFT je dovodený z DFT a umožňuje rýchly prevod koeficientov z časovej do frekvenčnej oblasti. Základný vzťah pre výpočet DFT:

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x_0(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}. \quad n = 0, 1, 2 \dots, N-1. \quad (7.1)$$

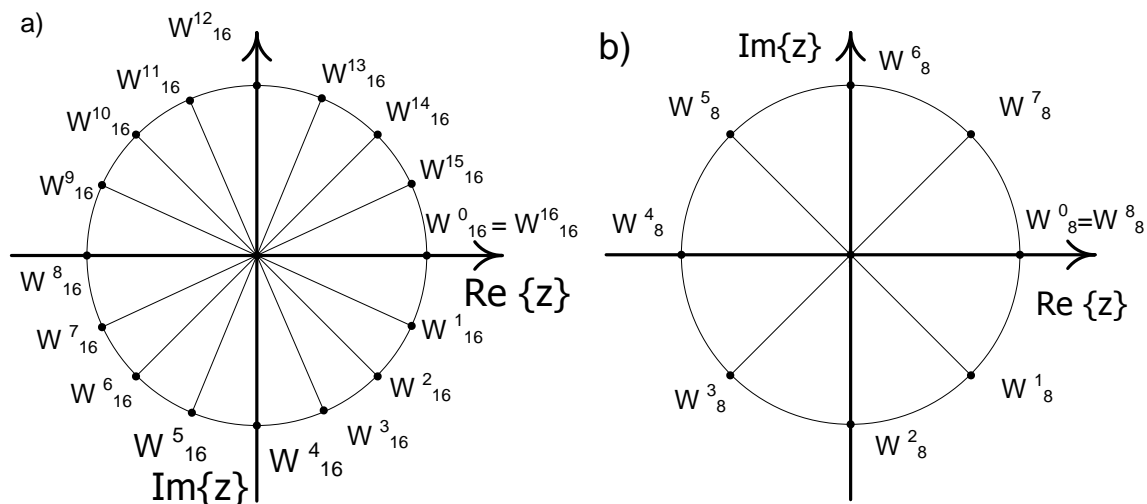
Kde $x_0(k)$ je pole časových koeficientov a $X(n)$ pole frekvenčných obrazov $x_0(k)$. Náročnosť výpočtu FFT je $N \cdot \log_2(N)$ vid' [12]. Jadrom FFT je tzv. "butterfly" motýlik vid' obrázok 7.1. Existuje množstvo algoritmov pre výpočet FFT. Najznámejším z nich je Cooley-Tukey algoritmus Raddix-2 ktorý má dve varianty DIT(decimácia v čase) a DIF(decimácia vo frekvenčnej oblasti). Raddix-2 znamená že počet spracovávaných koeficientov musí byť rovný celočíselnej nezápornej mocnine dvoch.



Obrázok 7.1 Znázornenie operácie motýlika v FFT (prevzaté a upravené z [12]).

Zrýchlenia výpočtového času sa dosiahne pomocou zavedení tzv. "twiddle" faktorov. Sú to vlastne vypočítané hodnoty funkcií sínus a kosínus vid' rovnica 7.2. Zobrazenie "twiddle" faktora v komplexnej rovine pre rôzne N je na obrázku 7.2.

$$W_N^n = e^{-j\frac{2\pi n}{N}} = \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right). \quad (7.2)$$



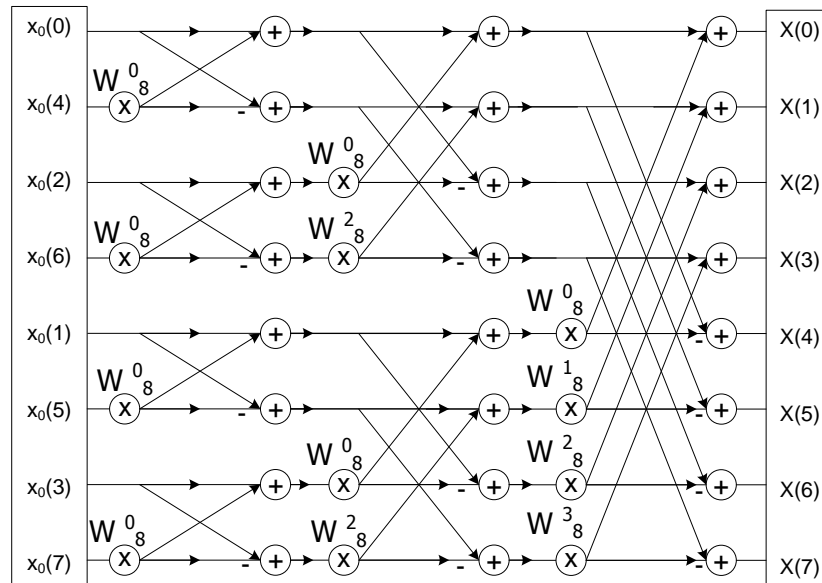
Obrázok 7.2 Znáozornenie “twiddle“ faktora pre a) $N = 16$ b) $N = 8$.

Proces výpočtu FFT sa líši podľa zvolenej metódy DIF/DIT. Pri použití DIF vstupujú koeficienty do FFT s dĺžkou $N/2$ a takto postupujú jednotlivými fázami až do poslednej kde sa prevedie výpočet motýlika dvoch susedných koeficientov. Výsledné pole frekvenčných koeficientov je však v bitovo reverznom poradí, preto je nutné výsledok preusporiadať do korektného poradia. Pri použití DIT sú koeficienty preusporiadané do bitovo reverzného poradia. Postup FFT je opačný ako v pri DIF, tzn. začína sa jednoduchou operáciou motýlika medzi susednými vzorkami a v poslednej fáze je FFT s dĺžkou $N/2$. Bitová reverzácia spočíva vo vyjadrení pozície v binárnom tvare a ozrkadlení bitov. Napríklad je daná dĺžka FFT $N = 8$ a bude použitá metóda DIT, preto je nutné preusporiadať koeficienty na ich bitovo reverznú pozíciu. Každé číslo (0 až 7) sa prevedie do binárneho tvaru a ozrkadlí sa voči osi symetrie. Po získaní bitovo reverzných indexov sa umiestnia koeficienty na odpovedajúce pozície.

Tabuľka 7.1 Príklad indexov (n) a ich bitovo reverzných hodnôt (b) pre $N = 8$.

$(n)_{10}$	0	1	2	3	4	5	6	7
$(n)_2$	000	001	010	011	100	101	110	111
$(b)_2$	000	100	010	110	001	101	011	111
$(b)_{10}$	0	4	2	6	1	5	3	7

Príklad signálového toku pre FFT DIT s dĺžkou $N = 8$ je na obrázku 7.3. $x(n)$ je pole časových koeficientov, $X(n)$ je pole výsledných spektrálnych koeficientov, W_N^n je hodnota “twiddle“ faktora. Všetky aritmetické operácie pracujú s komplexnými číslami. Ako vyplýva z obrázku 7.2 niektoré hodnoty “twiddle“ faktora sú rýdzo reálne alebo rýdzo imaginárne, v takomto prípade sa dá výpočet urýchliť tak že stačí len príslušné dvojice sčítať, prípadne zameniť imaginárnu časť s reálnou. Jedná sa o hodnoty “twiddle“ faktora $W_8^0 = 1$, $W_8^2 = -j$, $W_8^4 = -1$ a $W_8^6 = +j$.



Obrázok 7.3 Signálový tok pri FFT DIT s $N = 8$ (prevzaté a upravené z [12]).

Pre dosiahnutie čo najpresnejšieho výsledku sa na pole vstupných koeficientov aplikuje váhové okno. Existujú 4 najpoužívanejšie typy okien. Sú to obdĺžnikové, trojuholníkové, Hannove a Hammingove okno. Každé z nich má špecifické vlastnosti vid'. [12]. Jedným z najdôležitejších požiadaviek na váhové okno je čo najmenšia šírka hlavného spektrálneho laloku a zároveň čo najväčšie potlačenie postranných spektrálnych lalokov.

Ďalšou vlastnosťou FFT je jej rozlíšenie vo frekvenčnej oblasti. Závisí na použitej vzorkovacej frekvencii a na počte spektrálnych koeficientov. Rozlíšenie vo frekvenčnej oblasti teda určuje, akú šírku frekvenčného spektra reprezentuje jeden koeficient. Vzťah na výpočet rozlíšenia R [12] je:

$$R = \frac{f_{VZ}}{N} = \frac{1}{N \cdot T_{VZ}} \cdot [\text{Hz}] \quad (7.3)$$

7.2 FFT s pevnou rádovou čiarkou

V dôsledku požiadavky na vysokú presnosť sa používa číselná reprezentácia koeficientov dátovým type s plávajúcou rádovou čiarkou. To však iba za predpokladu že bude FFT použitá na účely presnej analýzy. V prípadoch, kedy je potrebné len informatívne zobrazit' frekvenčné spektrum, sa pre jednoduchú implementáciu a menšiu výpočtovú náročnosť používajú čísla s pevnou rádovou čiarkou. Jedinou nevýhodou je zmenšená presnosť výsledného zobrazeného spektra, pre čo najmenšie chyby je nutné používať číselné typy s čo najväčším bitovým vyjadrením. Voľba počtu bitov závisí na výpočtovom výkone daného systému v ktorom bude výpočet FFT prebiehať.

Pre implementáciu FFT do 8-bitového mikrokontroléra ATmega128 , boli zvolené nasledujúce dátové typy s bitovými hĺbkami:

- Vzorky s A/D prevodníka s hĺbkou 8 bit znamienkové vyjadrenie.
- Hodnoty Hammingového okna s hĺbkou 16 bit znamienkové vyjadrenie.
- Hodnoty “twiddle“ faktora s hĺbkou 16 bit znamienkové vyjadrenie.
- Spracovávané FFT koeficienty s hĺbkou 16 bit znamienkové vyjadrenie.
- Výsledné spektrálne koeficienty s hĺbkou 8 bit neznamienkové vyjadrenie.

Samotná implementácia FFT DIT obnášala niekoľko problémov. Prvým problémom bola nutnosť uloženia veľkého množstva dát do pamäte mikrokontroléra. Jedná sa o konštanty “twiddle“ faktora, Hammingovho okna, a ďalšie. Riešenie spočívalo v uložení konštánt do programovej pamäte. Hodnoty “twiddle“ faktorov, konkrétne hodnoty funkcií sínus a kosínus sú uložené v poliach *Tcos[32]* a *Tsin[32]*. Prístup k takto uloženým dátam je realizovaný pomocou špeciálnych funkcií preddefinovaných v programovacom prostredí. Tieto funkcie sa nachádzajú v hlavičkovom súbore *progmem.h*. Ďalším problémom je nutnosť ošetrenia pretekania dátových typov pri aritmetických operáciách. Riešenie spočíva napríklad pri násobení dvoch 16 bitových čísel sa výsledok po násobení uloží do 32 bitovej premennej a potom sa dolných 15 bitov oreže a výsledok sa uloží do požadovanej 16 bitovej premennej. Pri súčtoch/rozdieloch dvoch 16 bitových čísel sa každá premenná predelí dvomi ešte pred samotnou aritmetickou operáciou. Zistilo sa že pre väčšiu úsporu času je výhodnejšie delenie dvomi realizovať bitovým posuvom doprava o jeden bit. Keďže FFT pracuje s komplexnými číslami bolo nutné vytvoriť dve dátové polia pre FFT, jedno obsahovalo reálne časti a druhé obsahovalo imaginárne časti. Výstupom FFT boli dve polia obsahujúce reálne, imaginárne zložky spektrálnych koeficientov. Aby bolo možné zobrazit' koeficienty vo forme stĺpcov, bolo ich nutné previesť do tvaru modul, fáza. Pre tento účel musela byť upravená funkcia matematickej operácie výpočtu druhej odmocniny.

Matematické operácie vykonávané v každom motýliku sú teda operáciami komplexného súčinu, súčtu a rozdielu. Operácia komplexného súčinu je uvedená vo vzťahu 7.4

$$(Re_1 + jIm_1) \cdot (Re_2 + jIm_2) = (Re_1 \cdot Re_2 - Im_1 \cdot Im_2) + j(Re_1 \cdot Im_2 + Re_2 \cdot Im_1) \quad (7.4)$$

Kde za Re_1 a Im_1 sú dosadené hodnoty z imaginárneho a reálneho dátového poľa, a za Re_2 a Im_2 sú dosadené hodnoty odpovedajúcich funkcií kosínus a sínus. Podrobnejšie spracovanie je v kapitole 8.7

8 POPIS PROGRAMU

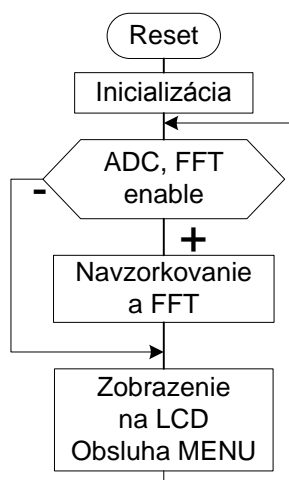
Celý program je rozdelený do niekoľkých samostatných zdrojových súborov. Každý z nich obsahuje podskupinu funkcií. Základom sú nasledovné zdrojové súbory:

- *Body.c* – nastavenie základných preferíí, prerušení, inicializácia portov, definície globálnych premenných, procedúry obsluhy prerušení.
- *LCD.c* – funkcie zabezpečujúce komunikáciu s LCD displejom, funkcie zápisu dát, textu, znakov na LCD a funkcie na vykreslenie grafiky.
- *IIC.c* – funkcie zabezpečujúce komunikáciu cez rozhranie IIC (TWI).
- *FFT.c* – funkcie potrebné pre výpočet FFT.

8.1 Hlavný program

Pre správnu funkciu celého zapojenia bolo potrebné nastaviť správne funkcie jednotlivých portov, nastaviť frekvenciu sériovej linky, povoliť vektory externých prerušení pre enkodér. Frekvencia IIC bola zvolená 400 kHz pre nastavenie vzorkovacej frekvencie AD prevodníka $F_{VZ} = 44,4$ kSa/s. Vzorkovacia frekvencia teda vyhovuje Shannon-Kotelnikovmu teorému, keďže maximálna teoretická frekvencia audiopásma je 20 kHz platí $2 \cdot 20 \text{ kHz} < 44,4 \text{ kHz}$. Podrobnejšie je práca s ADC rozobraná v kapitole 8.3.

Hlavný program potom v nekonečnej slučke získa vzorky s ADC predá ich do funkcií FFT, a nakoniec zavolá funkcie na zobrazenie stĺpcov a obsluhu MENU. Správanie hlavného programu je ovplyvnené zavedeným stavovým registrom *status*. Okrem toho sa v obsluhe prerušení od enkodéra stanoví pozícia v MENU ako aj prípadné zmeny hodnôt premenných alebo posun v MENU. Funkcia hlavného programu je znázornená na obrázku 8.1.



Obrázok 8.1 Zjednodušený vývojový diagram hlavného programu.

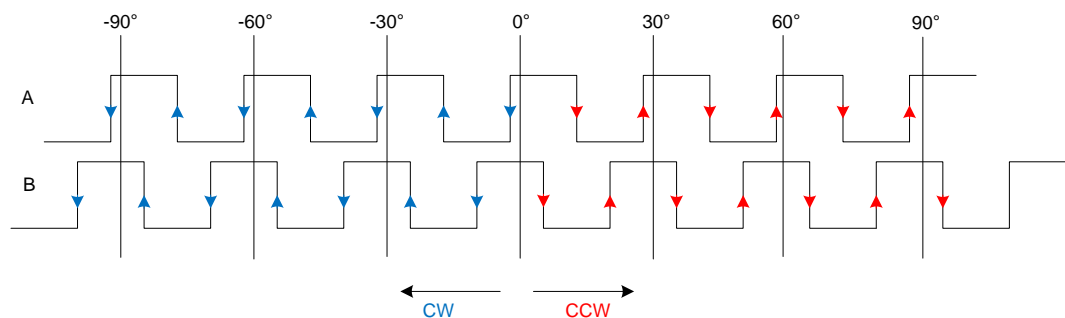
Jednotlivé bity *status* registra majú nasledujúce významy:

- 7.bit – informuje o stave LCD displeja zapnutý/vypnutý.
- 6. bit – informácia o polohe MENU hlavné / podmenu.
- 5. bit – informuje hlavný program o zapnutom/vypnutom menu.
- 4. bit – povolenie AD prevodu a FFT.
- 3. bit – informuje o potrebe aktualizácii audioprocessorov.

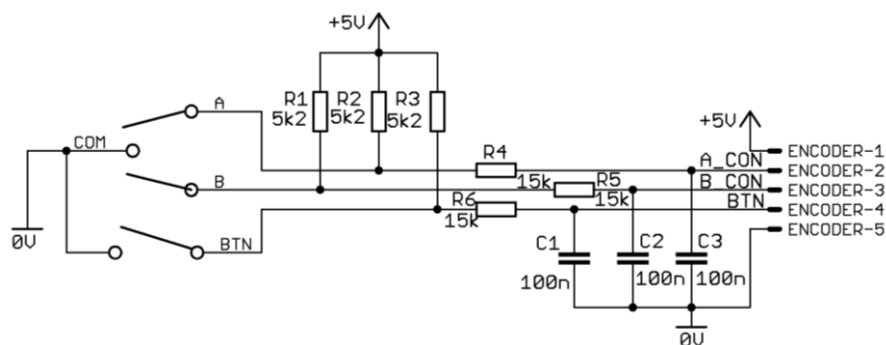
Zvyšné bity sú nevyužívané, *status* register teda ušetril pamäťové miesta 5. premenných.

8.2 Obsluha Enkodéra

Rotačný enkodér je špeciálny druh ovládacieho prvku. Pomocou enkodéra je možné detekovať pootočenie v smere (CW) alebo proti smeru hodinových ručičiek (CCW). Smer pootočenia sa vyhodnotí na základe signálov z dvoch vývodov označených A a B vid' schému zapojenia enkodéra na obrázku 8.3. V prípade zhody logických úrovní signálov A a B sa jedná o smer CCW, ak majú signály rôznu logickú úroveň jedná sa o smer CW vid' obrázok 8.2

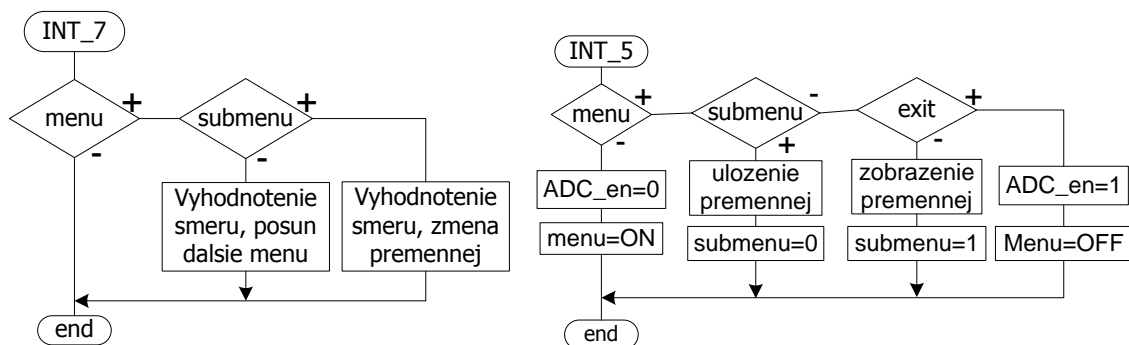


Obrázok 8.2 Typické časové priebehy signálov rotačného enkodéra.



Obrázok 8.3 Schéma zapojenia rotačného enkodéra.

Signál A bol privedený na vstup externého prerušenia *INT_7*. Obsluha enkodéra sa teda nachádza vo funkcii prerušenia od vektora *INT7_vect*. Na základe obsahu *status* registra sa potom zmení menu alebo sa zmení hodnota nastavovanej premennej v príslušnom podmenu. Enkodér obsahuje navyše tlačidlo *BTN*. Výstup tlačidla je privedený na externé prerušenie *INT_5*. Vývojové diagramy obsluhy enkodéra sú na obrázku 8.4.



Obrázok 8.4 Vývojové diagramy obsluhy enkodéra.

8.3 AD prevodník

AD prevodník pracuje v unipolárnom režime. Na napätí 2,5 V je superponovaný audio signál s amplitúdou max 2,5 V. Mikrokontrolér komunikuje s AD prevodníkom prostredníctvom sériovej linky IIC. Pracovný mód AD prevodníka bol zvolený tak aby bolo možné odoberať vzorky s vzorkovacou frekvenciou $f_{vz} > 20 \text{ kHz}$. Pre tento účel bolo nutné zvoliť správnu hodinovú frekvenciu sériovej linky mikrokontroléra. Keďže sa jedná o sériový prevodník trvá prenos jedného vzorku cca 9 hodinových cyklov IIC linky. Pri zvolenej hodinovej frekvencii IIC 400 kHz je potom vzorkovacia frekvencia AD prevodníka $400000/9 = 44,4 \text{ kSa/s}$. Frekvenčné rozlíšenie vypočítané podľa vzťahu 7.3 $R = 694 \text{ Hz}$. Výsledná dĺžka navzorkovaného časového okna je 1,45 ms. Po získaní 64 vzorkov je AD prevodník uvedený do energeticky úsporného "idle" módu [10].

8.4 Obsluha audio procesorov

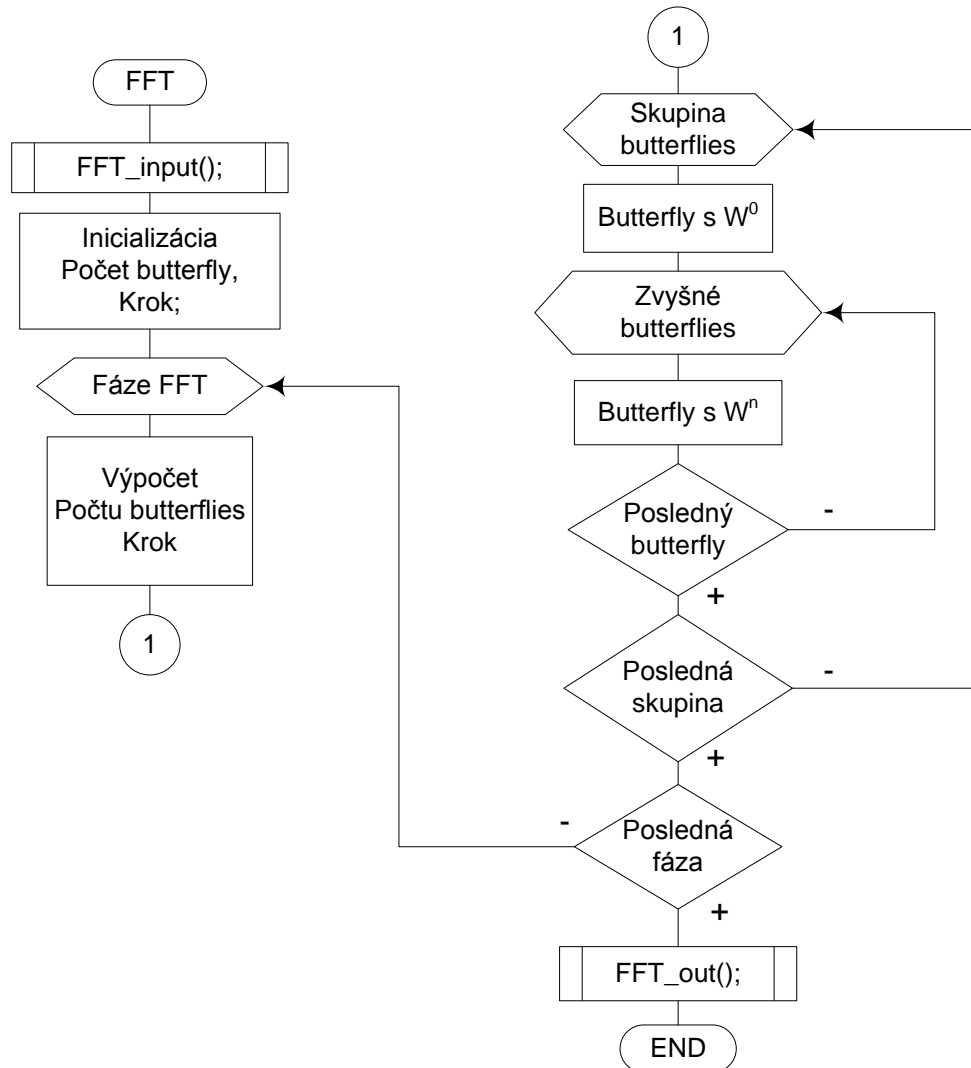
Komunikácia mikrokontroléra s audio procesormi je realizovaná prostredníctvom sériovej linky IIC naprogramovanou funkciou *TDA_set*. Nastavovanie prebieha vždy pri inicializácii celého programu a potom po každej zmene nastavení v príslušnej časti menu. Identifikácia zmeny nastavení je zaznamenaná v status registri. Okrem užívateľsky navolených hodnôt je možné využiť preddefinované hodnoty pre equalizér. Jednotlivé prednastavené módy equalizéra spolu s odpovedajúcimi úrovňami sú v tabuľke 8.1.

Tabuľka 8.1 Preddefinované štýly equalizéra.

Pásmo Štýl	36 Hz	100 Hz	300 Hz	1 kHz	3 kHz	10 kHz
Rock	12 dB	6 dB	- 4 dB	- 4 dB	6 dB	12 dB
Pop	- 2 dB	4 dB	6 dB	2 dB	- 2 dB	- 2 dB
Classical	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	- 2 dB	- 8 dB
Live	- 4 dB	- 2 dB	2 dB	4 dB	4 dB	0 dB
Flat	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB

8.5 Program FFT

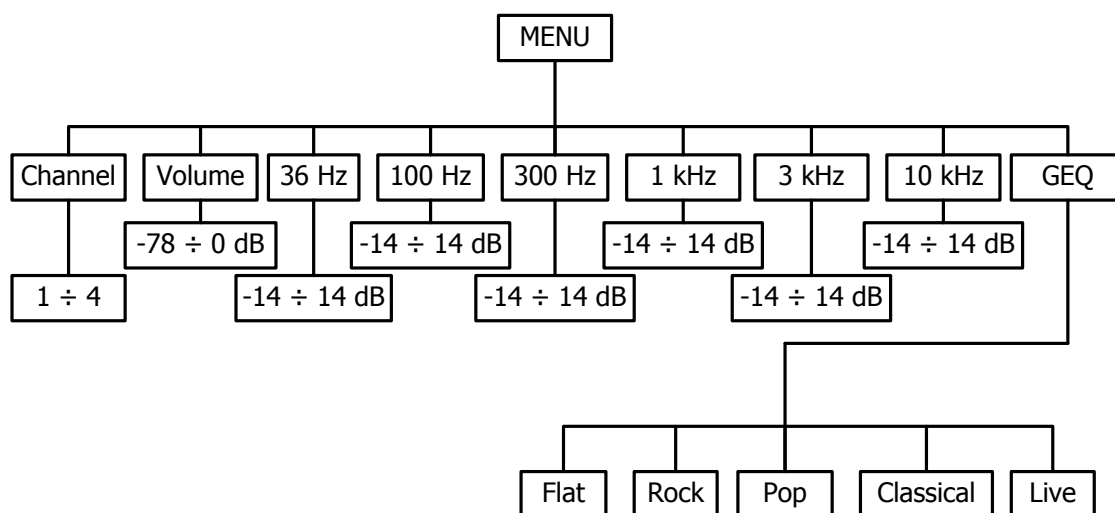
Celkovo FFT pozostáva s troch základných blokov vid'. Obrázok 8.5. V prvom bloku sa získané vzorky upraví v procedúre *FFT_input()* do znamienkového tvaru a vynásobia sa Hammingovým oknom *Hamming64[64]* s dĺžkou 64 prvkov. Výsledok násobenia je ukladaný na bitovo reverzné pozície. Keďže sú získané vzorky rýdzo reálne, je nevyhnutné vynulovať pole imaginárnych častí *FFT_i[64]*. Takto upravené polia už sú spracované FFT algoritmom funkciou *FFT_run*. Algoritmus bol upravený tak, že časti v ktorých bol "twiddle" faktor rovný jednej (všetky časti s W^0), sa vykonalo jednoduché sčítanie a odčítanie dvoch prvkov motýlika. Ďalšou úpravou je vynechanie operácií motýlikov v záverečnej fáze FFT. Toto vynechanie je dôsledkom symetrie spektra. Preto bolo možné upraviť výpočet tak, aby bolo vypočítaných iba prvých 32 zo 64 koeficientov. Poslednou fázou je výpočet veľkosti modul jednotlivých spektrálnych koeficientov z reálnych a imaginárnych častí v poliach *FFT_r[64]* a *FFT_i[64]*. Výsledné veľkosti modulov sú sprahované funkciou *minmax* a prevedené na bitovú hĺbku 8 bit. Výsledné hodnoty sú uložené v poli *FFT_buff[64]* a pomocou funkcie *LCD_bar_conv* upravené na tvar z ktorého sa určí výška stĺpca zobrazeného na displeji.



Obrázok 8.5 Vývojový diagram FFT algoritmu.

8.6 Štruktúra MENU

Základná stromová štruktúra MENU je na obrázku 8.6. MENU je tvorené z textových častí a z grafických častí. V základnom zobrazení je na obrazovke zobrazený zvolený vstupný audio vstup, a aktuálna nastavená hlasitosť. V dolnej časti obrazovky sa zobrazuje vypočítané spektrum audio signálu. 32 frekvenčných stĺpcov predstavuje frekvencie od 0 Hz (jednosmerná zložka) až do 21,52 kHz s krokom 690 Hz. Je potrebné pripomenúť že v tejto úvodnej obrazovke nemá akékoľvek otáčanie enkodérom žiadny vplyv na chod programu. Po stlačení tlačidla (umiestneného v strede enkodéra) sa vypne výpočet a tým aj zobrazenie výsledku FFT. V tomto okamihu je zapnuté hlavné MENU. Pootáčaním enkodéra je možné prechádzať všetky úrovne vid' obrázok 8.6. Pre vstúpenie do ľubovoľného podmenu je potrebné aby dané MENU bolo zobrazené na obrazovke a následne stlačiť tlačidlo pre potvrdenie. Na obrazovke v podmenu je zobrazený názov , a hodnota príslušného parametra (číslo audio vstupu, úroveň hlasitosti, a pod.). Poloha aktuálne nastavenej hodnoty je vyjadrená vo vodorovnom stĺpci, ktorý vytvorí funkcia *volbar()*. Pre opustenie podmenu je nutné stlačiť tlačidlo. Spolu s jeho opustením sa nastavená hodnota uloží na odpovedajúce miesto v poli *TDA[9]*. Vystúpenie z hlavného MENU je možné pomocou narolovania menu EXIT a potvrdením stlačením tlačidla. S polu s vystúpením z hlavného MENU sa povolí výpočet a zobrazenie FFT, obsahy audio procesorov sa aktualizujú funkciou *TDA_set()*. Riadace slová pre audioprocesory potrebné pre nastavenie požadovaných preddefinovaných hudobných štýlov su uložené v poli *GEQ[5][6]*.

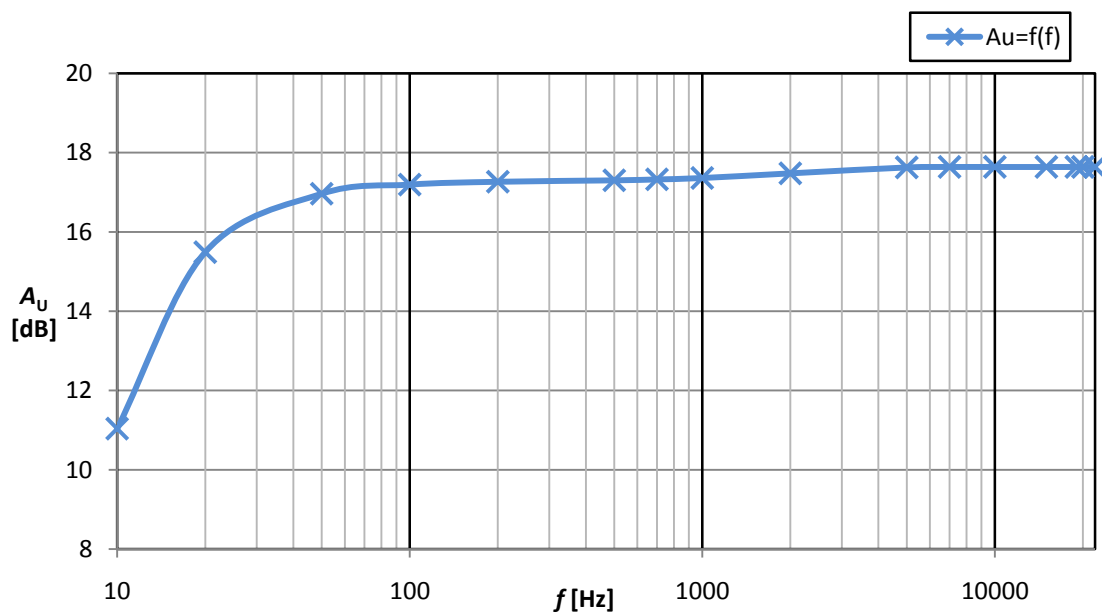


Obrázok 8.6 Stromová štruktúra MENU.

9 EXPERIMENTÁLNE MERANIE

V experimentálnom meraní boli zmerané vybrané parametre kompletného audio zosilňovača. Zmeraná frekvenčná závislosť modulovej charakteristiky je na obrázku 9.1. Zmeraná závislosť bola pri nastavených nasledovných parametroch:

- Úroveň zosilnenia signálu v jednotlivých frekvenčných pásmach 0 dB
- Nastavenie zosilnenia vstupného predzosilňovača 0 dB
- Meraný pravý kanál 4. audio vstupu
- Úroveň vstupného signálu 1 V_{RMS}



Obrázok 9.1 Grafická závislosť modulu napäťového zosilnenia na frekvencii.

Ďalej boli zmerané činitele skreslenia k_2 , k_3 a $THD+N$ pri $f = 1$ kHz a $U_{IN} = 1$ V_{RMS}, výstupnom výkone $P_O = 7,26$ W, impedancii záťaže $R = 8 \Omega$ a $THD+N_{GEN} = 0,04$ %.

$k_2 = 0,069$ % , $k_3 = 0,003$ % , $THD+N = 0,2$ % .

Použité meracie prístroje:

- NF funkčný generátor Agilent 33220A
- NF milivoltmeter Grundig MV100
- Multimeter DMM-3900

10 ZÁVER

V tejto bakalárskej práci bol rozobratý návrh jednotlivých blokových častí NF zosilňovača. Zosilňovač disponuje štyrmi prepínateľnými stereo vstupmi. Equalizér bol navrhnutý s pásmami 36 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 1000 Hz, 3000 Hz a 10 000 Hz. Celkové zdôraznenie/potlačenie signálu je možné nastaviť v rozmedzí ± 20 dB. Ďalej bol navrhnutý a oživený koncový stupeň s monolitickým zosilňovačom LM 4780 T s požadovaným výkonom 2×50 W do zaťažovacej impedancie 8Ω .

V ďalšej časti bol navrhnutý program umožňujúci výpočet FFT v 8 bitovom mikrokontroléri. Celková výpočtová náročnosť 64 bodovej FFT pri použití křištáli bola 116051 strojových cyklov mikrokontroléra, to odpovedá času 7,8 ms. Väčšej časovej náročnosti výpočtu by bolo možné dosiahnuť prepísaním zdrojového kódu v jazyku C do jazyka symbolických adres, to však nebolo potrebné, pretože výsledný čas bol dostačujúci pre danú aplikáciu. Pre získanie časových vzorkov k výpočtu FFT bol zvolený externý prevodník s postupnou aproximáciou. Vzorkovaciu frekvenciu bolo možné nastaviť z frekvencie hodinového signálu sériovej linky IIC. Výsledná vzorkovacia frekvencia je 44,4 kSa/s. Pretože však bola frekvencia sériovej linky obmedzená doporučenou hodnotou pre mikrokontrolér ATmega128 (max. 400 kHz) bolo by vhodnejšie použiť paralelný prevodník. Okrem implementácie FFT bol v práci navrhnutý kompletný riadiaci program. Použitie rotačného enkodéra s tlačidlom výrazne zmenšilo počet ovládacích prvkov a spolu s MENU umožnilo jednoduché a prehľadné nastavovanie parametrov výsledného audio zosilňovača.

V ďalšej fázi bude k celkovému zapojeniu pripojený USB modul, umožňujúci pripojenie USB úložného zariadenia a prehrávanie skladieb vo formáte mp3 uložených na tomto médiu.

LITERATÚRA

- [1] NATIONAL SEMICONDUCTORS, *Katalógový list LM 4870. Overture Audio Power Amplifier Series Stereo 60W, Mono 120W Audio Power Amplifier with Mute* [online]. National Semiconductor Corporation 2003. 24s. [cit. 10.10.2009].
Dostupné z WWW: < <http://cache.national.com/ds/LM/LM4780.pdf>>
- [2] STMicroelectronics, *Katalógový list TDA 7318. Digital controlled stereo audio procesor* [online]. STMicroelectronics 1999. 14s. [cit. 20.10.2009].
Dostupné z WWW: < <http://www.st.com/stonline/>>
- [3] STMicroelectronics, *Katalógový list TDA 7317. Five bands digital controlled graphic equalizer* [online]. STMicroelectronics 1999. 13s. [cit. 20.10.2009].
Dostupné z WWW: < <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/>>
- [4] WIRSUM, S. *Abeceda nf techniky*. Praha: BEN - technická literatura 2003. 192 s. ISBN 80-86056-26-0. [cit. 22.10.2009]
- [5] KOTISA, Z. *NF zesilovače 1. – tranzistorové výkonové zesilovače*. Praha: BEN– technická literatura, 2003. 96 s. ISBN 80-7300-030-x.[cit. 22.10.2009]
- [6] NATIONAL SEMICONDUCTORS, *Katalógový list AN 892. Audio amplifiers Utilizing: SPiKe Protection* [online]. National Semiconductor Corporation 2002. 10s. [cit. 22.10.2009]. Dostupné z WWW: < <http://www.national.com/an/AN/AN-898.pdf>>
- [7] WTElectronics, *Katalógový list. KBU810 8.0A bridge rectifier* [online]. WTElectronics 2006. 4 s. [cit. 22.10.2009].
Dostupné z WWW <http://www.hius.com.ua/hius_cat/kbu8.pdf>
- [8] ATMEL, *Katalógový list ATmega128. 8-bit Microcontroller with 128K Bytes In-System Programmable Flash* [online]. Atmel Corporation 2009. 386 s. [cit. 10.11.2009].
Dostupné z WWW:< http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf>
- [9] MAXIM, *Katalógový list MAX 296. 8-th Order, Lowpass, Switched-Capacitor Filters* [online]. Maxim Integrated Products 1996. 8 s. [cit. 10.11.2009].
Dostupné z WWW:< <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX291-MAX296.pdf>>
- [10] MAXIM, *Katalógový list MAX 1036. 4.5 V to 5.5V, Low-Power,4-Channel 2-Wire Serial 8-bit ADCs* [online]. Maxim Integrated Products 2009. 23 s. [cit. 10.11.2009]. Dostupné z WWW:<<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1036-MAX1039M.pdf>>
- [11] KREJCIRIK, A. *Napájecí zdroje 1*. Praha BEN - technická literatura 2002. 352 s ISBN 80-86056-02-3 [cit.10.11.2009]
- [12] BRIGHAM, E. *The Fast Fourier Transform and Its Applications*. New Jersey, Prentice Hall 1988. 416 s. ISBN 0-13-307505-2

ZOZNAM SYMBOLOV

U_{CC}	[V]	napájacie napätie.
I_{CC}	[A]	kľudový prúd.
V_{CL}	[V]	maximálna hodnota neskresleného napätia
R	[Ω]	odpor.
R_{IN}	[Ω]	vstupný odpor.
R_{OUT}	[Ω]	výstupný odpor.
R_L	[Ω]	zaťažovací odpor.
f	[Hz]	frekvencia.
C	[F]	kapacita.
SR	[V/s]	rýchlosť prebehu.
A_U	[-]	napät'ové zosilnenie.
A_P	[-]	výkonové zosilnenie.
T_{JMAX}	[$^{\circ}C$]	teplota prechodu.
T_{AMB}	[$^{\circ}C$]	teplota okolitého prostredia.
P_{DMAX}	[W]	maximálny stratový výkon.
U_0	[V]	stredná hodnota napätia.
I_0	[A]	stredná hodnota prúdu.
p	[%]	napät'ové zvlnenie.
P_Z	[W]	výkon na záťaži.
$THD+N$	[%]	činiteľ harmonického lineárneho skreslenia.

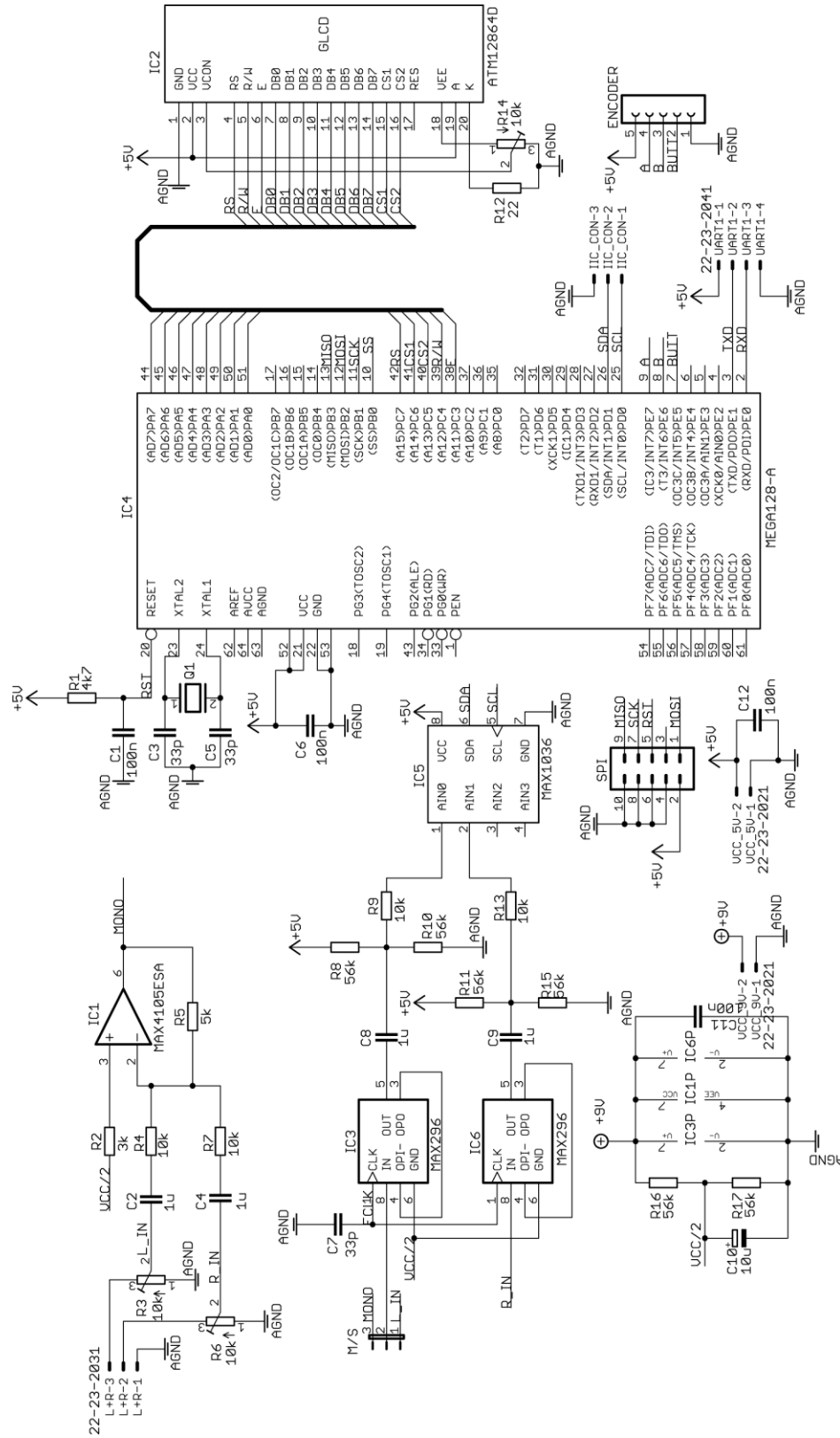
ZOZNAM SKRATIEK

DFT	diskrétna furierová transformácia (Discrete Fourier Transformation).
FFT	rýchla furierová transformácia (Fast Fourier Transformation).
DIT	decimácia v časovej oblasti (Decimation In Time).
DIF	decimácia vo frekvenčnej oblasti (Decimation In Frequency).
NF	nízkokfrekvenčný.
SNR	odstup signálu od šumu (Signal to Noise Ratio).
V_{RMS}	efektívna hodnota napätia (Voltage route mean square).
IIC	sériová linka (Inter-Integrated circuits)
TWI	sériová linka (Two Wire Interface)
ADC	analogovo číslicový prevodník (Analog to Digital Converter)
CW	otočenie v smere hodinových ručičiek (Clock Wise)
CCW	otočenie proti smeru hodinových ručičiek (Counter Clock Wise)
DPS	doska plošných spojov.

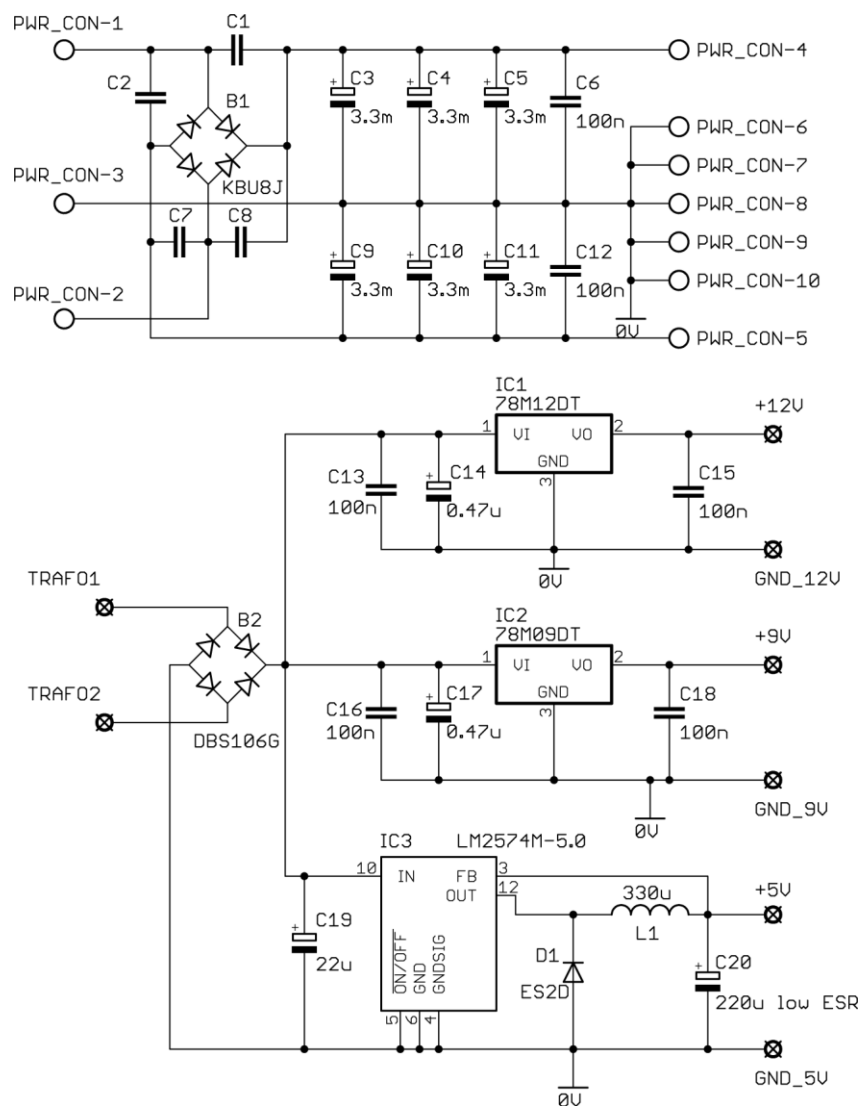
ZOZNAM PRÍLOH

A	Schéma zapojenia modulu riadenia	35
B	Schéma zapojenia napájacieho zdroja	36
C	Schéma zapojenia modulu audioprocessorov a koncového stupňa	37
D	Predlohy Dosiek Plošných Spojov	38
E	Osadzovacie predpisy	40
F	Zoznam súčiastok	43
G	Zoznam príloh na priloženom CD nosiči	46

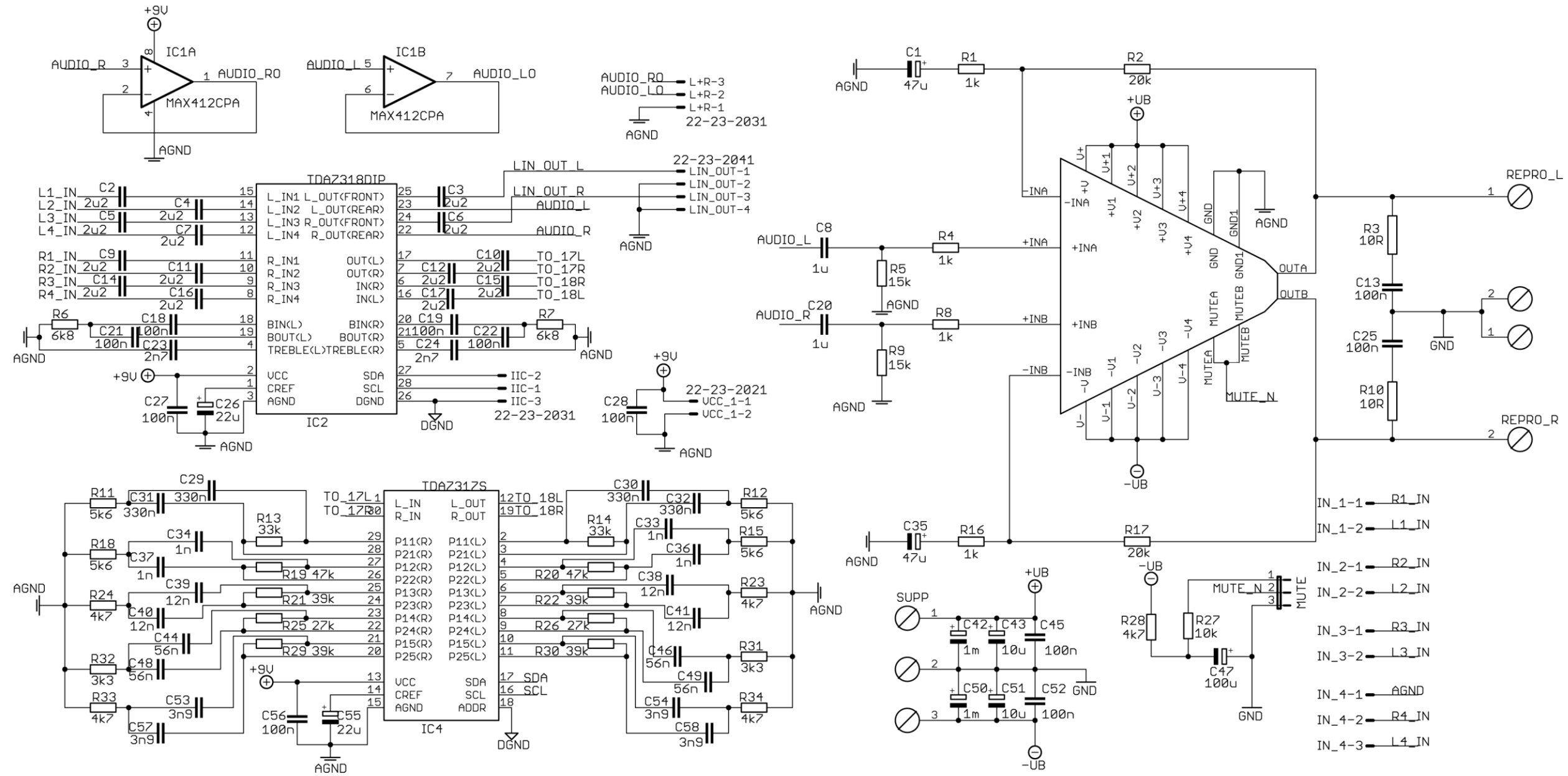
A SCHÉMA ZAPOJENIA MODULU RIADENIA



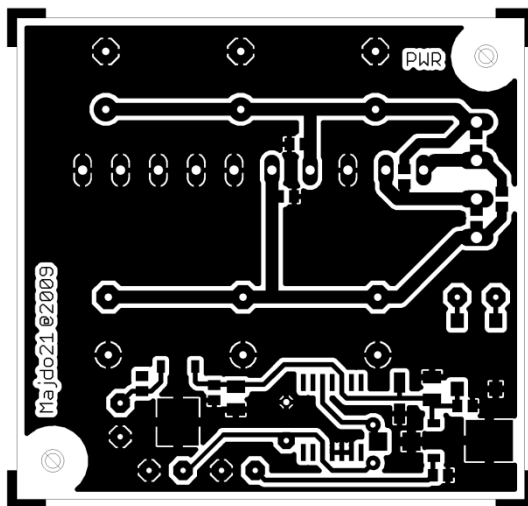
B SCHÉMA ZAPOJENIA NAPÁJACIEHO ZDROJA



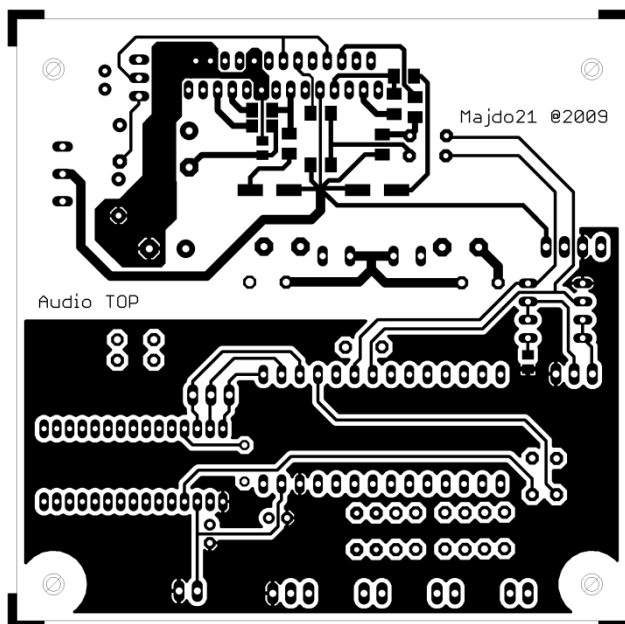
C SCHÉMA ZAPOJENIA MODULU AUDIOPROCESOROV A KONCOVÉHO STUPŇA



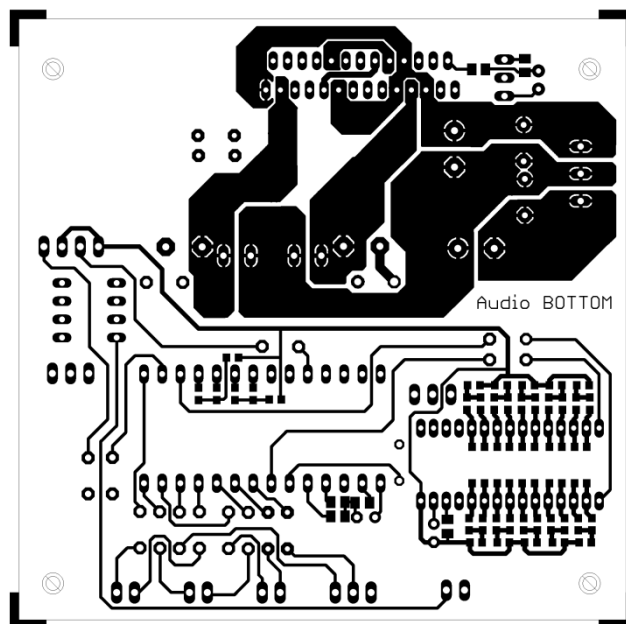
D PREDLOHY DOSIEK PLOŠNÝCH SPOJOV



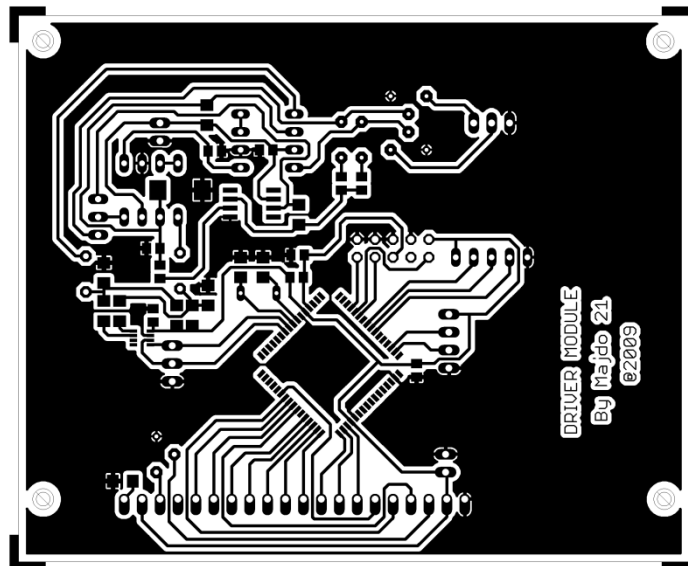
Obrázok D.1 DPS modulu napájacieho zdroja – BOTTOM (strana spojov).
Rozmer 67 x 64 [mm]. Mierka M1:1.



Obrázok D.2 DPS modulu audioprocesorov a koncového stupňa – TOP (strana súčiastok).
Rozmer 85 x 84 [mm]. Mierka M1:1.

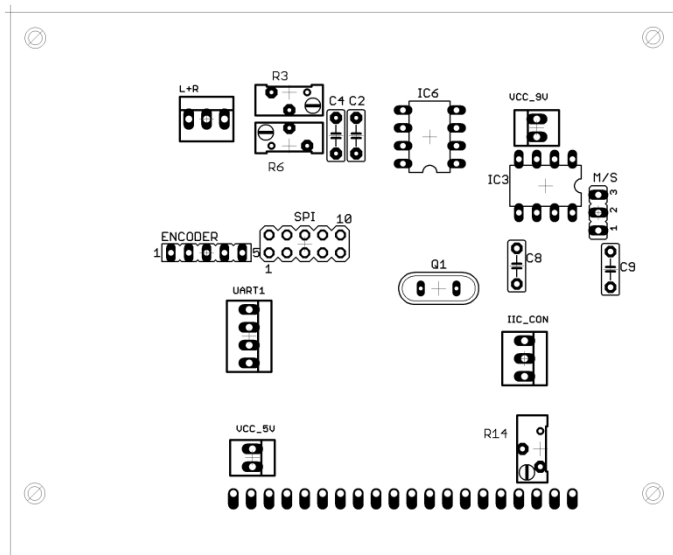


Obrázok D.3 DPS modulu audioprocessorov a koncového stupňa – BOTTOM (strana spojov). Rozmer 85 x 84 [mm]. Mierka M1:1.

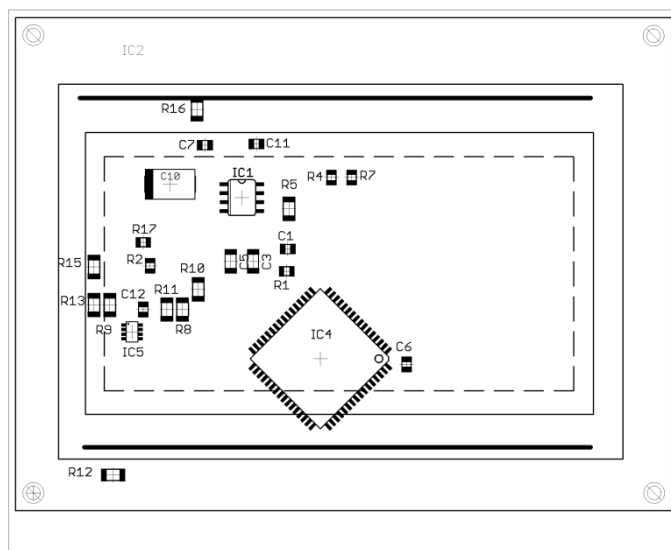


Obrázok D.4 DPS modulu riadenia a spracovania – BOTTOM (strana spojov). Rozmer 95 x 78 [mm]. Mierka M1:1.

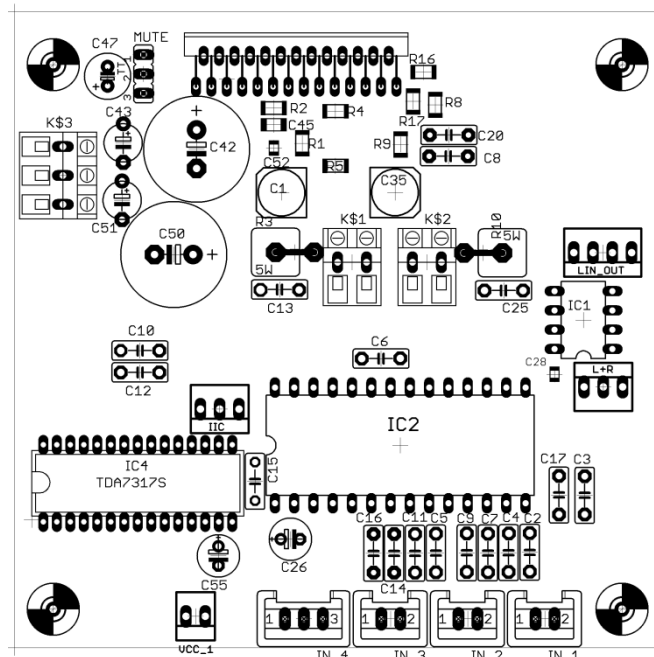
E OSADZOVACIE PREDPISY



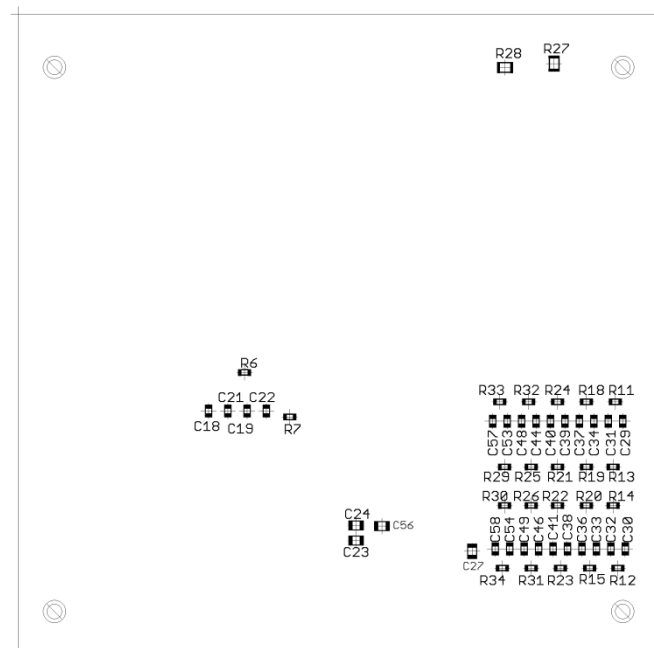
Obrázok E.1 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu riadenia a spracovania.- TOP (strana súčiastok). Mierka M1:1.



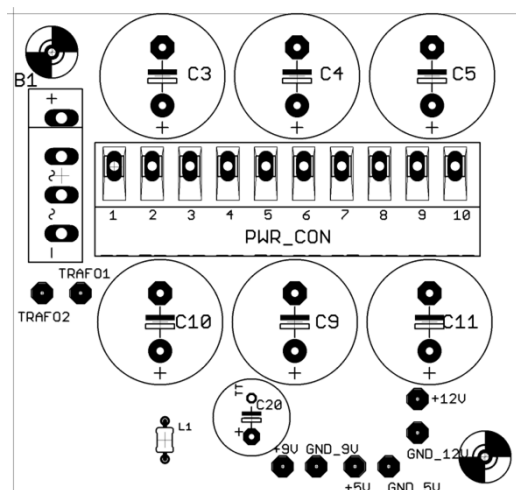
Obrázok E.2 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu riadenia a spracovania.- BOTTOM
(strana spojov). Mierka M1:1.



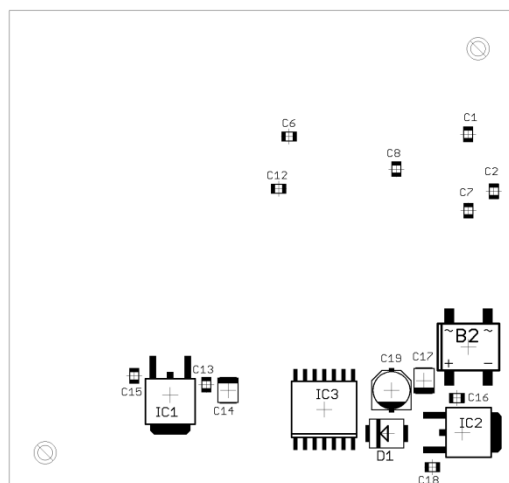
Obrázok E.3 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu audioprocessorov a koncového stupňa.-
TOP (strana súčiastok). Mierka M1:1.



Obrázok E.4 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu audioprocessorov a koncového stupňa.-
BOTTOM (strana spojov). Mierka M1:1.



Obrázok E.5 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu napájacieho zdroja - TOP (strana súčiastok). Mierka M1:1.



Obrázok E.6 Rozmiestnenie súčiastok DPS modulu napájacieho zdroja - BOTTOM (strana spojov). Mierka M1:1.

F ZOZNAM SÚČIASTOK

Modul napájacieho zdroja.

Označenie	Hodnota	Púzdro	Popis
B1	KBU8010	GBU4	Usmerňovací mostík
B2	DBS106G	DBS	Usmerňovací mostík SMD
C1	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C2	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C3	3.3 m/35 V	E7,5-16	Kondenzátor elektrolytický
C4	3.3 m/35 V	E7,5-16	Kondenzátor elektrolytický
C5	3.3 m/35 V	E7,5-16	Kondenzátor elektrolytický
C6	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C7	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C8	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C9	3.3 m/35 V	E7,5-16	Kondenzátor elektrolytický
C10	3.3 m/35 V	E7,5-16	Kondenzátor elektrolytický
C11	3.3 m/35 V	E7,5-16	Kondenzátor elektrolytický
C12	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C13	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C14	0.47 u	SMC_B	Kondenzátor tantalový
C15	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C16	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C17	0.47 u	SMC_B	Kondenzátor tantalový
C18	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický
C19	22 u	PANASONIC_C	Kondenzátor elektrolytický
C20	220 u	TT5D10	Kondenzátor elektrolytický
D1	ES2D	SMB	Schottkyho dióda SMD
IC1	7812DT	TO252	Lineárny stabilizátor SMD
IC2	7809DT	TO252	Lineárny stabilizátor SMD
IC3	LM2574M-5.0	SO14W	Spínaný stabilizátor 5 V
L1	330 u	LAN02KR	Indukčnosť
K1	PWR_CON	AKZ-950/10-5.0	Konektor Phoenix

Modul riadenia a spracovania.

Označenie	Hodnota	Púzdro	Popis
C1,C11,C12	100 n	C0805	Kondenzátor keramický SMD
C2	1 u	C050-025X075	Kondenzátor fóliový
C3	33 p	C1206	Kondenzátor keramický SMD
C4	1 u	C050-025X075	Kondenzátor fóliový
C5	33 p	C1206	Kondenzátor keramický SMD
C6	100 n	C0805	Kondenzátor keramický SMD
C7	33 p	C0805	Kondenzátor keramický SMD
C8	1 u	C050-025X075	Kondenzátor fóliový
C9	1 u	C050-025X075	Kondenzátor fóliový
C10	10 u	SMC_D	Kondenzátor tantalový SMD
R1	4k7	R0805	Rezistor SMD
R2	3 k	R0805	Rezistor SMD
R3	10 k	RTRIM64Y	Trimer logaritmický
R4	10 k	R0805	Rezistor SMD
R5	5 k	R1206	Rezistor SMD
R6	10 k	RTRIM64Y	Trimer logaritmický
R7	10 k	R0805	Rezistor SMD
R8	56 k	R1206	Rezistor SMD
R9	10 k	R1206	Rezistor SMD
R10	56 k	R1206	Rezistor SMD
R11	56 k	R1206	Rezistor SMD
R12	22 R	R1206	Rezistor SMD
R13	10 k	R1206	Rezistor SMD
R14	10 k	RTRIM64Y	Trimer lineárny
R15	56 k	R1206	Rezistor SMD
R16	56 k	R1206	Rezistor SMD
R17	56 k	R0805	Rezistor SMD
IC1	MAX4105ESA	SO08	Operačný zosilňovač SMD
IC2	ATM12864D	ATM12864	Grafický displej 128 x 64 bodov
IC3	MAX296	DIL08	Programovateľný filter
IC4	MEGA128-A	TQFP64	Mikrokontrolér SMD
IC5	MAX1036	SOT23-8L	A/D prevodník SMD
IC6	MAX296	DIL08	Programovateľný filter
Q1	14,7456 MHz	QS	Kryštál
K1	ENCODER	FE05-1	Olamovacia lišta
K2	IIC_CON	22-23-2031	Konektor moxex
K3	L+R	22-23-2031	Konektor moxex
K4	M/S	S1G3	Olamovacia lišta
K5	SPI	S2G10	Olamovacia lišta
K6	UART1	PSH02-04PG	Konektor moxex
K7	VCC_5V	PSH02-02PG	Konektor moxex
K8	VCC_9V	PSH02-02PG	Konektor moxex

Modul audioprocesorov a koncového stupňa.

Označenie	Hodnota	Púzdro	Popis
C1,C35	47 u/ 35 V	SMD 6,3x5,4	Kondenzátor elektrolytický
C2, C3,C4,C5, C6,C7,C9,C10 C11,C12,C14,C15, C16,C17	2u2	C050-025X075	Kondenzátor fóliový
C8,C20	1 u	C050-025X075	Kondenzátor fóliový
C13,C25	100 n	C050-025X075	Kondenzátor keramický SMD
C18,C19,C21,C22	100 n	C0603	Kondenzátor keramický SMD
C23,C24	2n7	C0805K	Kondenzátor keramický SMD
C26,C55	22 u /16 V	E2,5-6	Kondenzátor elektrolytický
C27,C28,C52,C56	100 n	C0805K	Kondenzátor keramický SMD
C29,C30,C31,C32	330 n	C0603	Kondenzátor keramický SMD
C33,C34,C36,C37	1 n	C0603	Kondenzátor keramický SMD
C38,C39,C40,C41	12 n	C0603	Kondenzátor keramický SMD
C42,C50	1 m/35 V	E5-13	Kondenzátor elektrolytický
C43,C51	10 u /35 V	E5-5	Kondenzátor elektrolytický
C44,C46,C48,C49	56 n	C0603	Kondenzátor keramický SMD
C45	100 n	C1206	Kondenzátor keramický SMD
C47	100 u /35 V	E2,5-6,3	Kondenzátor elektrolytický
C53,C54,C57,C58	3n9	C0603	Kondenzátor keramický SMD
R1,R4,R8,R16	1 k	M1206	Rezistor SMD
R2,R17	22 k	M1206	Rezistor SMD
R3,R10	10 R	KH208R-8	Rezistor 5W
R5,R9	15 k	M1206	Rezistor SMD
R6,R7	6k8	R0603	Rezistor SMD
R11,R12,R15,R18	5k6	R0603	Rezistor SMD
R13,R14	33 k	R0603	Rezistor SMD
R19,R20	47 k	R0603	Rezistor SMD
R21,R22,R29,R30	39 k	R0603	Rezistor SMD
R23,R24,R33,R34	4k7	R0603	Rezistor SMD
R25,R26	27 k	R0603	Rezistor SMD
R27	10 k	M0805	Rezistor SMD
R28	4k7	M0805	Rezistor SMD
R31,R32	3k3	R0603	Rezistor SMD
IC1	MAX412CPA	DIL08	OP AMP
IC2	TDA7318DI	DIL28-6	TDA 7318 D
IC3	LM4780	T0-220	
IC4	TDA7317S	SDIP30	TDA7317 I2
K1	IIC	PSH02-03PG	Konektor molex
K2	IN_1	PSH02-02PG	Konektor molex
K3	IN_2	PSH02-02PG	Konektor molex

K4	IN_3	PSH02-02PG	Konektor molex
K5	IN_4	PSH02-03PG	Konektor molex
K6	L+R	PSH02-03PG	Konektor molex
K7	LIN_OUT	PSH02-04PG	Konektor molex
K8	MUTE	S1G3	Olamovacia lišta
K9	REPRO_L	ARK360/2EX	Konektor skrutkovací 45 °
K10	REPRO_R	ARK360/2EX	Konektor skrutkovací 45 °
K11	SUPP	ARK360/3EX	Konektor skrutkovací 45 °
K12	VCC_1	PSH02-02PG	Konektor molex

G ZOZNAM PRÍLOH NA PRILOŽENOM CD NOSIČI

Elektronická verzia bakalárskej práce vo formáte PDF v adresári /thesis

Vytvorené zdrojové súbory v AVR Studiu v adresári /source.

Vytvorené návrhy DPS v Eagle v5.6 Lite v adresári /eagle

Fotodokumentácia zariadenia v adresári /photo.

Katalógové listy vybraných integrovaných obvodov v adresári /datasheets.